



ED SHS n : 473_ Lille Sciences de l'Homme et de la Société

THÈSE

Pour obtenir le grade de Docteur en Psychologie délivré par
L'Université de Lille

École doctorale Sciences de l'Homme et de la Société
Spécialité : Psychologie

**APPROCHE DÉVELOPPEMENTALE ET NEURO-ÉDUCATIVE DANS LA PRISE
EN CHARGE DES ENFANTS BILINGUES SOUFFRANTS DE TROUBLES
SPÉCIFIQUES D'APPRENTISSAGE AU LIBAN**

Soutenue publiquement par

Darine AL NABOULSI

Le 1 décembre 2022

Jury :

Madame Evelyne CLÉMENT (Rapporteur)

Prof. A CY Cergy Université de Paris_ PARAGRAPHE

Monsieur Jérôme CLERC (Rapporteur)

Prof. A l'Université de Grenoble-Alpes_ PSYCHOLOGIE
et NEUROCOGNITION

Monsieur Alain GUERRIEN (Président)

Prof. A l'Université de Lille_ PSITEC

Monsieur Bruno VILETTE (Directeur)

Prof. A l'Université de Lille_ PSITEC

Sommaire

Sommaire	2
Résumé	5
Abstract.....	6
Remerciements	7
Abréviations.....	8
 Présentation générale.....	 13
 CHAPITRE 1	 16
Le bilinguisme : historique et développement langagier	16
1.1. Aperçu historique sur le bilinguisme	18
1.2. Les paramètres et les types du bilinguisme	19
1.2.1. L'âge d'acquisition	19
1.2.2. Les compétences linguistiques chez les bilingues	21
1.2.3. Le rapport des statuts socio-culturels des deux langues	21
1.2.4. Le type de représentation cognitive	22
1.2.5. L'identité culturelle.....	23
1.3. Les facteurs développementaux du langage chez l'enfant bilingue.....	23
1.3.1. Facteurs internes	24
1.3.2. Facteurs externes.....	25
1.4. Approches neuro-anatomiques du bilinguisme.....	28
1.5. Le système éducatif bilingue au Liban.....	31
 CHAPITRE 2	 35
Les fonctions exécutives : développement et dysfonctionnement	35
2.1. Aperçu sur les fonctions exécutives	37
2.2. Les modélisations des fonctions exécutives.....	38
2.2.1. Luria (1966)	38
2.2.2. Norman et Shallice (1980/1986).....	39
2.2.3. Baddeley et Hitch (1974).....	40
2.2.4. Miyake, Naomi, Friedman, Emerson, Witzki et Howerter (2000)	41
2.2.5. Zelazo et Müller (2002)	43
2.2.6. Cowan (2005).....	43
2.2.7. Diamond (2013).....	44

2.3. Les principales composantes dans les fonctions exécutives.....	46
2.3.1. Le contrôle inhibiteur.....	47
2.3.2. La mémoire de travail	49
2.3.3. La flexibilité.....	51
2.4. Le développement des fonctions exécutives.....	53
2.4.1. La petite enfance	55
2.4.2. La période préscolaire.....	57
2.4.3. La période scolaire.....	58
2.5. Les facteurs de développement des fonctions exécutives.....	60
2.5.1. Les facteurs internes	60
2.5.2. Les facteurs externes.....	62
2.6. Les troubles dysexécutifs.....	69
2.7. L'entraînement des fonctions exécutives	70
2.7.1. Les entraînements pédagogiques	71
2.7.2. Les entraînements spécifiques des fonctions exécutives dans les troubles spécifiques des apprentissages.....	71
2.7.3. Principes généraux des entraînements	77
CHAPITRE 3	79
Relations entre bilinguisme, fonctions exécutives et performances scolaires.....	79
3.1. Bilinguisme et fonctions exécutives	80
3.1.1. Les avantages du bilinguisme sur les fonctions exécutives	80
3.1.2. Les contraintes du bilinguisme	84
3.2. Bilinguisme et performances scolaires	86
3.2.1. Bilinguisme et lecture	88
3.2.2. Bilinguisme et mathématique	91
3.3. Fonctions exécutives et performances scolaires	92
3.3.1. Fonctions exécutives et capacités de lecture.....	93
3.3.2. Fonctions exécutives et capacités en mathématiques	96
3.4. Fonctions exécutives et troubles spécifiques des apprentissages	99
3.4.1. Les troubles spécifiques des apprentissages	99
3.4.2. Déficit des fonctions exécutives dans le cadre des troubles spécifiques des apprentissages	101
3.5 Bilinguisme et difficultés spécifiques des apprentissages	107
Conclusion : nouvelles questions et réponses envisagées.....	110
CHAPITRE 4	114
Étude des relations entre bilinguisme, fonctions exécutives et performances scolaire chez les enfants au Liban	114
4.1. Méthode	117
4.1.1. Participants.....	117
4.1.2. Critères d'inclusion et d'exclusion généraux.....	118

4.2. Matériel.....	119
4.2.1. Modalités de passation.....	119
4.2.2. Description des épreuves	119
4.3. Résultats.....	124
4.3.1. Statistiques descriptives.....	124
4.3.2. Analyses préliminaires.....	132
4.3.3. Analyses principales : corrélations partielles et analyses de variance multivariée.....	133
4.4. Discussion.....	135
4.5. Limites de l'étude.....	137
CHAPITRE 5	140
Effets d'un entraînement intensif des fonctions exécutives sur les performances en lecture et en mathématique chez les enfants dyslexiques bilingues au Liban	140
5.1. Méthode	142
5.1.1. Participants.....	142
5.1.2. Critères d'inclusion et d'exclusion	143
5.2. Matériel.....	145
5.2.1. Modalités de passation.....	145
5.2.2. Description des épreuves	145
5.3. Description générale de l'entraînement	150
5.3.1. Les conditions d'entraînement.....	150
5.3.2. Matériel	150
5.4. Résultats.....	154
5.4.1. Effets de l'entraînement sur les performances exécutives	156
5.4.2. Effets de l'entraînement sur les performances académiques	158
5.5. Discussion.....	160
5.6. Limites relatives à la méthodologie employée	162
Conclusion générale.....	164
Références Bibliographiques.....	173
Liste des figures.....	223
Liste des Tableaux.....	225

Résumé

Approche développementale et neuro-éducative dans la prise en charge des enfants bilingues souffrants de troubles spécifiques d'apprentissage au Liban.

Ce travail de recherche porte sur les relations entre le bilinguisme, les fonctions exécutives et les performances scolaires des enfants libanais bilingues. Face aux particularités des apprentissages scolaires au Liban et aux complexités orthographiques spécifiques à chacune des deux langues considérées (française et arabe), l'enfant bilingue se trouve confronté à des exigences et des contraintes cognitives plus importantes que les monolingues lors des apprentissages scolaires. En regard de ce constat, deux études expérimentales sont présentées dans ce travail. La première vise à clarifier les effets de l'apprentissage d'une langue seconde sur les fonctions exécutives et les performances académiques des enfants libanais bilingues comparativement aux monolingues. Une batterie d'épreuves évaluant le fonctionnement exécutif et les habiletés mathématiques et de lecture a été administrée à des élèves monolingues et bilingues âgés entre 8 et 10 ans. Les résultats confirment les relations positives entre le bilinguisme, la flexibilité et l'inhibition, ainsi qu'avec les performances en lecture et en mathématique. Par contre, aucune relation n'est retrouvée entre le bilinguisme et l'impulsivité cognitive. La seconde étude vise à clarifier les effets d'un entraînement intensif des fonctions exécutives par le biais du langage oral chez des enfants libanais bilingues présentant des troubles spécifiques d'apprentissage (dyslexie) associés ou non à un déficit exécutif. Plusieurs épreuves évaluant le fonctionnement exécutif et les habiletés mathématiques et de lecture ont été administrées à ces élèves en période pré et post entraînement. Les résultats confirment les relations positives entre les tâches d'entraînement et les fonctions exécutives ciblées, ainsi que des effets de transfert sur la lecture et les mathématiques. D'une manière générale, le travail réalisé démontre les avantages du bilinguisme sur les fonctions exécutives et les performances académiques auprès des enfants libanais bilingues. Il démontre également l'efficacité d'une méthode d'entraînement ciblé et intensif basé sur les fonctions exécutives et le bilinguisme afin d'améliorer les habiletés en lecture et en mathématiques chez des enfants libanais en grande difficulté d'apprentissage.

Mots clés : Bilinguisme, Fonctions exécutives, Performances scolaires, Entraînement, Troubles spécifiques d'apprentissage.

Abstract

Developmental and neuro-educational approach in the therapy of bilingual children with specific learning disabilities in Lebanon.

Our research focuses on the relationship between bilingualism, executive functions such as inhibition and flexibility and their implications on school performances. Faced with the particularities of school learning in Lebanon and the orthographic complexities specific to each of the two languages considered: French and Arabic, the bilingual child with specific learning disorders such as dyslexia and dyscalculia is confronted with demands that require an additional cognitive effort. Two experimental studies were carried out in this thesis: the first one aims at clarifying the effects of second language learning on executive functions and on academic performance of Lebanese children. A battery of tests assessing executive functioning and mathematical and reading skills was administered to 8-10 years old monolingual and bilingual children attending school in Lebanon. Our results confirm the expected positive relationships between bilingualism, flexibility and inhibition, as well as with reading and mathematics performances. However, we show that there is no relationship between bilingualism and cognitive impulsivity. The second study aims at clarifying the effects of an intensive training of executive functions through oral language in bilingual children aged between 8 and 11 years with specific learning disabilities associated or not with an executive deficit. Several tests assessing executive functioning, and reading and mathematical skills were administered to these students in the pre and post training periods. Our results confirm the positive relationships between the training tasks and the targeted executive functions. In addition, between the pre-test and the post-test, impulsivity decreased significantly. Concerning the effects of transfer on school performances, especially reading and mathematics, this study confirmed these effects on both domains. Further, naming speed increased significantly in all three groups. In conclusion, our work demonstrated the benefits of bilingualism on EF and academic performances in bilingual among Lebanese children. Moreover, we showed the effectiveness of a targeted and intensive training method based on bilingualism and executive functions to improve reading and mathematical skills in children with specific learning disabilities.

Key words: *Bilingualism, Executive functions, Denomination, Academic performance, Training, Specific learning disabilities.*

Remerciements

Je remercie avant tout mon directeur de thèse Monsieur le Professeur Bruno Vilette, pour son soutien pendant mes moments difficiles suite à ma maladie durant ma deuxième année de thèse. Je le remercie surtout pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant de diriger ce travail de thèse, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et ses recommandations. Il m'a apporté beaucoup et je lui en suis sincèrement reconnaissante.

Je tiens ensuite à remercier les membres du jury, Madame le professeur Evelynne Clément, Monsieur le professeur Jérôme Clerc et Monsieur le professeur Alain Guerrien, de m'avoir fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce travail.

Pour les merveilleux moments de partage et d'échanges qui ont rendu ces années de thèse agréables et fructueuses, je tiens à remercier les membres de mon Comité de Suivi Individuel Madame Przygodski-Lionet Nathalie et Madame Thébault Jeanne merci pour vos supports et vos suggestions.

Mes remerciements s'adressent également aux enfants et à leur famille pour leur participation bénévole à ce travail de thèse, leur disponibilité et leur enthousiasme. Un grand merci aussi au centre Cles, à la direction du centre et à toutes les thérapeutes qui ont collaboré dans le recrutement des enfants et dans l'application de l'entraînement. Merci à toutes les écoles, pour m'avoir accueillie au sein de leurs établissements et pour les échanges toujours agréables et riches.

J'aimerais également remercier mes proches, papa, maman, ma sœur Randa Al Naboulsi et mon frère Jihad El Naboulsi pour leurs encouragements et leurs suivis de près. Un grand merci à Carla Bader pour son précieux soutien. Mes remerciements et ma reconnaissance vont également au professeur Hayssam Kotob pour ses conseils dans le domaine de la linguistique et du bilinguisme dans le contexte libanais.

Abréviations

ACE	<i>Batterie d'évaluation des habiletés mathématiques</i>
APA	<i>American Psychiatric Association</i>
BELEA	<i>Batterie d'évaluation du langage écrit pour la langue arabe</i>
BP	<i>Boucle phonologique</i>
CCA	<i>Cortex cingulaire antérieur</i>
CLES	<i>Centre Libanais d'éducation spécialisée</i>
CPF	<i>Cortex préfrontal</i>
CPFDL	<i>Cortex préfrontal dorsolatéral</i>
CVS	<i>Calepin visuo-spatial</i>
DCCS	<i>Dimensional change card sort</i>
DEN	<i>Dénomination</i>
DSM	<i>Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux</i>
DZ	<i>Dizygotes</i>
ELO-L	<i>Batterie d'Évaluation du langage oral libanais</i>
FE	<i>Fonctions exécutives</i>
FLE	<i>Flexibilité</i>

GC	<i>Groupe contrôle</i>
GC1	<i>Groupe contrôle 1 d'enfants ayant une dyslexie/dysorthographe non associé à un trouble dysexécutif</i>
GC2	<i>Groupe contrôle 2 dyslexie/dysorthographe qui servira comme un groupe contrôle actif</i>
GE	<i>Groupe entraîné enfants ayant une dyslexie/dysorthographe avec trouble dysexécutif associé</i>
GFID	<i>Gyrus frontal inférieur droit</i>
GFIG	<i>Gyrus frontal inférieur gauche</i>
IMP	<i>Impulsivité</i>
INH	<i>Inhibition</i>
IRM	<i>Imagerie par résonance magnétique</i>
ISO	<i>Institut supérieur d'orthophonie</i>
L1	<i>Première langue</i>
L2	<i>Deuxième langue</i>
LEC	<i>Lecture</i>
MAT	<i>Mathématique</i>
Max	<i>Maximum</i>
MCT	<i>Mémoire à court terme</i>

MDT	<i>Mémoire de travail</i>
Min	<i>Minimum</i>
MZ	<i>Monozygotes</i>
QI	<i>Quotient intellectuel</i>
SAS	<i>Système attentionnel Superviseur</i>
Sec	<i>Seconde</i>
SNA	<i>Système de nombre approximatif</i>
SNE	<i>Système de nombre exact</i>
SSE	<i>Statut socio-économique</i>
SVR	<i>Simple Vue of Reading</i>
TDA-H	<i>Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité</i>
TEA-Ch	<i>The test of everyday Attention for Children</i>
TMT	<i>Trail Making Test</i>
TSA	<i>Troubles spécifiques d'apprentissages</i>
TSLE	<i>Troubles spécifiques du langage écrit</i>
UNHCR	<i>United nations high commissioner for refugee</i>
VASyR	<i>Vulnerability Assessment of Syrian Refugees</i>

VWFA *Aire visuelle de l'hémisphère gauche*

WCST *Test des cartes du Wisconsin (en : Wisconsin card sorting test)*

WISC *Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants*

ZAREKI-R *Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*

Les langues sont un trésor et véhiculent autre chose que des mots. Leur fonction ne se limite pas au contact et à la communication. Elles constituent d'une part des marqueurs fondamentaux de l'identité, elles sont structurantes, d'autre part, de nos perspectives.

Michel Serres (1996)

Présentation générale

La langue occupe une place essentielle en regard des fonctions multiples qu'elle accomplit sur le plan individuel et collectif. Depuis les découvertes de Broca en 1861 et de Wernicke en 1874, la majorité des travaux ont exploré le système langagier des sujets monolingues. Ce n'est que plus récemment que les travaux consacrés au bilinguisme, et même au plurilinguisme, se sont développés.

Depuis presque deux décennies, la majorité de la population maîtrise et parle plus d'une langue : la moitié de la population mondiale est ainsi bilingue (Grosjean, 2010). Le bilinguisme, phénomène socioculturel, a incité les chercheurs à explorer la manière dont le cerveau gère plusieurs systèmes linguistiques et les particularités du fonctionnement cérébral des personnes bilingues. Un intérêt spécifique a été porté sur les avantages et les inconvénients du bilinguisme. Dans cette optique, des travaux ont été menés sur les relations (avantages /inconvénients) du bilinguisme avec les fonctions exécutives et le développement verbal.

Certains travaux rapportent que le scénario bilingue, voire plurilingue, confronte une variété de défis sociaux (Abutalebi et Costa, 2008). Ces défis vont des politiques éducationnelles aux interventions thérapeutiques consacrées par exemple aux enfants ayant des troubles du langage ou bien des troubles spécifiques des apprentissages. Malgré cet intérêt croissant de la recherche sur le bilinguisme et le développement du langage écrit, le fonctionnement cognitif et son implication dans les mécanismes d'apprentissage chez l'enfant bilingue restent peu explorés.

Au Liban, le plurilinguisme est enraciné dans l'histoire du pays au point qu'il est considéré comme un patrimoine national. Le système politique libanais s'est ainsi donné comme finalité de former des citoyens trilingues : 54% des jeunes libanais sont déjà trilingues (Shaaban et Ghaith, 2000). Selon Kotob (2002), les différentes langues employées par la population libanaise ne sont pas distinctes dans leur discours quotidien ; le libanais, le français et l'anglais peuvent se mélanger au sein d'une même phrase.

Quant au système éducatif libanais, il se caractérise par un bilinguisme précoce basé sur l'enseignement simultané de l'arabe et du français ou de l'arabe et l'anglais. L'enfant est exposé précocement et simultanément à des systèmes d'écriture distincts exigeant des mécanismes cognitifs particuliers afin qu'il puisse s'adapter aux particularités de chaque langue. Dans ce contexte, les études sur l'enfant bilingue au développement atypique ou souffrant d'un trouble spécifique du langage écrit sont très rares. Ainsi, nous nous posons plusieurs interrogations. Par exemple, un contexte éducatif bilingue aurait-il des effets délétères sur les fonctions exécutives de l'enfant ? Quels sont les effets du bilinguisme sur les performances scolaires ? Dans quelle langue un bilingue souffrant d'un trouble spécifique des apprentissages devrait-il être rééduqué ? Les réponses à ces interrogations devraient avoir un impact sur les politiques sociales et le système éducatif et scolaire. Ces réponses ne peuvent être obtenues que par une approche empirique, ce qui justifie l'amplification des études dans le domaine du bilinguisme. Ce travail de thèse a pour objectif général d'apporter des éléments de réponse à ces questions. Notre recherche va proposer une étude comparative autour des fonctions exécutives et des performances scolaires dans un contexte bilingue. Plus précisément, notre objectif sera d'étudier le lien entre le bilinguisme, les fonctions exécutives et les performances scolaires des enfants bilingues au Liban.

Dans la première partie de ce travail, une revue de la littérature est proposée qui comprend trois chapitres. Nous abordons dans un premier chapitre les données expérimentales et théoriques récentes sur le bilinguisme. Ensuite, nous présentons dans le second chapitre des éléments sur le développement et les dysfonctionnements des fonctions exécutives. Enfin, nous clôturons cette première partie avec un troisième chapitre qui traite des liens établis entre les fonctions exécutives, le bilinguisme et les performances scolaires, notamment la lecture et les mathématiques. Nous abordons également dans ce troisième chapitre les difficultés spécifiques d'apprentissage, particulièrement la dyslexie et la dyscalculie. Nous évoquerons enfin les études menées sur les liens entre la dyslexie, les fonctions exécutives et le bilinguisme pour aboutir notre problématique et aux hypothèses soulevées.

Dans la seconde partie de ce travail, nous présenterons la contribution expérimentale mise en œuvre pour tester nos hypothèses et répondre aux questions soulevées. Nous avons réalisé successivement deux recherches dont les résultats seront présentés respectivement dans les chapitres 4 et 5. La première est une étude comparative portant sur les relations entre bilinguisme, fonctions exécutives et performances scolaires dans un contexte bilingue (Al

Naboulsi et Vilette, 2021). La seconde étude explore les effets d'un entraînement de certaines fonctions exécutives sur les performances scolaires en lecture et en mathématiques auprès des enfants dyslexiques bilingues (Al Naboulsi et Vilette, en préparation). Les résultats obtenus seront confrontés aux données de la littérature, pour enfin évoquer les perspectives et l'intérêt de notre travail dans la prise en charge des enfants ayant des troubles spécifiques d'apprentissage dans le contexte bilingue de la culture libanaise.

CHAPITRE 1

Le bilinguisme : historique et développement langagier

Au travers des études, les définitions sur le « bilinguisme » sont très variées et complexes partant de la maîtrise optimale jusqu'à des compétences basiques dans les deux langues (Hamers et Blanc 1983). En effet, le développement du bilinguisme présente des caractéristiques uniques du fait que l'acquisition de la seconde langue (L2) dépend de plusieurs facteurs comme la période d'acquisition de chaque langue, le niveau de maîtrise de chacune ou la fréquence d'utilisation (Gottardo et Grant, 2008).

Dans une acception très restrictive, Bloomfield (1935) définit le bilinguisme par la maîtrise de chacune des deux langues aussi bien qu'une personne monolingue. Cette définition présente un aspect « idéaliste » puisqu'elle propose se comporter dans chaque langue comme des natifs. Toutefois, un bilinguisme parfaitement équilibré n'existe pas puisque chaque bilingue présente un profil linguistique propre et ne possède pas le même type de vocabulaire dans les deux langues (Paradis, 2010 ; Gordon, 2013). Ainsi, Baker (1996) introduit la notion de « compétence » et celle « d'utilisation » de la langue. La notion de compétence englobe la compréhension orale, la compréhension écrite, l'expression orale et l'expression écrite. Ces dimensions sont envisagées sous la forme d'un continuum et peuvent être influencées tout long de la vie, ce qui fait qu'elles peuvent être plus ou moins développées chez un même individu. Ainsi, il est possible d'être très compétent dans l'une des quatre dimensions sans pour autant en faire usage dans la vie quotidienne. Quant à la notion d'utilisation, elle renvoie à la fonction du bilinguisme. En effet, un bilingue préfère toujours utiliser une langue plus que l'autre malgré son aisance à parler couramment les deux (Baker, 1996).

Grosjean (2010) introduit la notion de « compétence communicative évolutive » et de « complémentarité entre les langues ». Pour cet auteur, un bilingue est rarement complètement fluent dans les deux langues dans la mesure où chacune d'elle est utilisée différemment selon des besoins et des précisions fonctionnelles différentes, ce qui montre que l'usage s'effectue de manière distributionnelle entre les deux. Ainsi, la situation de communication permet au locuteur de choisir la langue cible. Deux modes de communication sont distingués : le mode bilingue lorsque les deux langues sont présentes et activées au même niveau dans la communication, et le mode monolingue lorsque les deux langues sont activées mais que le degré d'activation de la langue non cible est moins important que le degré d'activation de la langue cible. Les mécanismes du contrôle linguistique dépendent largement de la demande du contexte linguistique bilingue ou monolingue.

Actuellement, il est primordial de s'intéresser au bilinguisme chez l'enfant puisque ce phénomène tend à devenir la norme par rapport à celle des enfants monolingues (Armon-Lotem, 2012). Le but de ce chapitre est donc de présenter le bilinguisme en partant tout d'abord de réflexions historiques, puis en abordant ensuite les différents types et situations du bilinguisme. Enfin, les facteurs internes et externes pouvant affecter le développement du langage chez un enfant bilingue seront abordés avec un bref aperçu sur le contexte éducatif libanais bilingue.

1.1. Aperçu historique sur le bilinguisme

Pendant longtemps, le bilinguisme a été conçu comme un handicap linguistique. Selon le mythe de la tour de Babel, la pluralité linguistique a déséquilibré la vie des gens. Il s'agissait d'une punition divine et donc foncièrement mauvaise (Lüdi et Py, 2003).

Au XV^{ème} siècle, l'expansion du castillan en Espagne était privilégiée selon le dicton « une nation, un roi, une langue » (Lüdi et Py, 2003). L'Espagne a envisagé également la monoglossie comme une vertu civique qui constitue la garantie de l'unité nationale.

Au cours de la révolution française, d'après la circulaire du comité de salut public présidé par Robespierre du 28 prairial : « dans une république une et indivisible, la langue doit être une » (Lüdi et Py, 2003).

Ultérieurement, les partisans des courants environnementalistes et behavioristes ont envisagé négativement le bilinguisme, notamment sur le développement mental de l'individu. Pour Smith (1939), le mélange des langues est un signe de manque de compétence ou de confusion mentale. Encore récemment, pour Hakuta (1985) et Akbulut (2007), le bilinguisme peut bloquer le développement de l'enfant et même à l'origine de confusion.

Ces effets délétères du bilinguisme ont été remis en question avec l'émergence du courant cognitiviste, notamment par Chomsky (1957). A la fin des années 50-60, les fondateurs du courant cognitiviste (Chomsky 1968 ; Fodor, 1975) ont mis en avant l'ambiguïté des études précédentes sur le bilinguisme. Peal et Lambert (1962) ont mené la première étude expérimentale comparative sur les relations entre le bilinguisme et l'intelligence. Leurs résultats révélaient de meilleures capacités chez les enfants bilingues, rapportant ainsi un effet positif du bilinguisme sur l'intelligence. A partir des années 1970, l'intérêt accordé au bilinguisme s'est amplifié et les travaux n'ont pas cessé de prendre de l'ampleur. Ainsi, la vision réductrice des effets du bilinguisme sur les capacités intellectuelles a commencé à progresser.

De nos jours, le plurilinguisme s'avère une obligation pour affronter les défis du XXI^e siècle. Il est question d'une prédisposition à l'échange et au brassage culturel qui font appel à des spécificités linguistiques tout en reflétant le phénomène du plurilinguisme qui participe à la formation de la personnalité et à l'acquisition des langues. La maîtrise de plusieurs langues procurerait des ouvertures spirituelle et culturelle chez les enfants.

1.2. Les paramètres et les types du bilinguisme

Hamers et Blanc (1983) ont répertorié et organisé certaines caractéristiques permettant de définir les situations de bilinguisme telles que l'âge d'acquisition, l'environnement géographique, la compétence atteinte dans les deux langues, les rapports des statuts socio-culturels des deux langues et le type de représentation cognitive. Ces caractéristiques posent la question de la maîtrise des deux langues du bilingue, et notamment de sa deuxième langue (L2) par rapport à des éléments qui touchent son parcours personnel. Toutefois, le contexte et l'âge d'acquisition de la L2 demeurent les facteurs les plus déterminants. En outre, la comparaison des niveaux de compétence en langue première L1 et en L2 semble facile à établir et permet de mieux cerner le bilinguisme. Cependant, les compétences sont fluctuantes du fait que le bilinguisme est un processus dynamique qui change tout au long de la vie en fonction de plusieurs paramètres. Le bilinguisme se situe ainsi sur un continuum allant d'une compétence minimale à une compétence maximale pour les deux langues (Niklas-Salminen, 2011).

1.2.1. L'âge d'acquisition

L'âge d'acquisition de la L2 est considéré en référence à la plasticité cérébrale et à la maturité cognitive (Singleton, 2003 ; Köpke, 2009). Ainsi, *un bilinguisme précoce* est distingué *du bilinguisme tardif*. Dans le bilinguisme précoce, la L2 est acquise pendant l'enfance (avant 5/6 ans). Durant cette période, l'acquisition de la langue se fait d'une façon non volontaire et non consciente. Dans cette perspective, certaines études menées sur le bilinguisme à partir des aptitudes phonologiques et lexicales confirment l'apparition des compétences bilingues dès le plus jeune âge. En fait, les enfants entre 16 et 30 mois commencent à distinguer les deux langues au niveau de la compréhension et la production (Fennel, Byers-Heinlein et Werker, 2007). En outre, il semble qu'avant 5 ans, la musicalité, la sonorité des langues et l'apprentissage informel de la structure syntaxique et grammaticale en soient facilités. Ces données renforcent la théorie de l'apprentissage précoce de la L2.

Dans le bilinguisme précoce, un *bilinguisme simultané* est distingué du *bilinguisme consécutif ou successif*. Dans le bilinguisme précoce simultané, l'exposition à la deuxième langue se produit dès la naissance (ou avant l'âge de 3 ans). L'apprentissage de la L2 se déroule de manière intuitive et naturelle suivant l'évolution de l'acquisition de la langue maternelle dans un contexte d'apprentissage informel. Le principal avantage dans cette situation est l'assimilation simultanée et précoce des structures des deux langues. Ainsi, le répertoire phonologique englobant les phonèmes des deux langues se construisent dans la même période, ce qui aboutit généralement à un bilinguisme additif ou fort. Ce type de bilinguisme est souvent rencontré dans les couples mixtes où chaque parent parle sa propre langue. Dans cette situation, les premières élaborations de l'enfant sont souvent mixtes même s'il distingue les deux langues. Progressivement, il sera en mesure de les séparer grâce à l'utilisation et la pratique de la langue. Ainsi, l'enfant parle les deux langues sans accent et peut passer très facilement de l'une à l'autre.

Quant au *bilinguisme précoce consécutif ou successif*, l'apprentissage de la L2 se déroule après l'acquisition de la langue maternelle, c'est-à-dire vers l'âge de trois ans, notamment à l'école maternelle. L'acquisition de la L2 reste néanmoins intuitive, s'effectue en plus de la langue maternelle et porte sur les références linguistiques de cette dernière. Les enfants des populations migrantes sont les plus concernés par ce type de bilinguisme du fait qu'ils communiquent à la maison dans une langue différente de celle de la société environnante. Le bilinguisme consécutif produit généralement un bilinguisme fort ou additif mais à condition que l'environnement accorde à l'enfant le temps nécessaire pour l'apprentissage de la L2.

En ce qui concerne le *bilinguisme tardif*, l'introduction de la L2 se fait après 6-7 ans, une période critique dans le développement du langage puisque l'enfant a déjà acquis la langue maternelle et débute l'apprentissage du langage écrit. Ainsi, l'apprentissage de la L2 s'effectue de manière consciente et s'appuie de façon moins intuitive sur la langue maternelle, ce qui sollicite des ressources cognitives plus importantes. Une grande variabilité dans les performances au niveau de la L2 est relevée chez les bilingues tardifs. Certains bilingues domineront la L2 comme leur langue maternelle, même au niveau de l'accent, tandis que d'autres seront toujours emportés par leur langue d'origine et ne pourront jamais tout à fait s'en détacher.

Par ailleurs, un bilinguisme tardif de la période adolescente (entre 10-12 ans et 16-18 ans) est distingué de celui de l'âge adulte. En effet, plus l'âge d'acquisition est avancé, moins la personne maîtrise la langue. Toutefois, celle-ci n'est pas impossible.

1.2.2. Les compétences linguistiques chez les bilingues

Pour évaluer les compétences linguistiques chez les bilingues, l'usage des deux langues et la fluence sont prises en considération, ce qui permet de distinguer entre un *bilinguisme équilibré* et un *bilinguisme non équilibré*. La compétence est dite *équilibrée* lorsque les habiletés linguistiques sont semblables dans les deux langues quel que soit le niveau de compétence linguistique. Le sujet bilingue se sent à l'aise dans la manipulation des deux codes linguistiques, ce qui fait que la maîtrise est équilibrée entre les deux. Ainsi, la personne bilingue réussit à résoudre des tâches verbales dans les deux langues sans aucun problème. Ce type de bilinguisme est plus souvent rencontré au sein des sociétés bilingues. Cependant, *le bilinguisme est dominant* lorsque les habiletés linguistiques dans une langue est supérieure à celle de l'autre langue. Les compétences dans la langue maternelle sont souvent dominantes à celles de la L2 mais, dans des cas exceptionnels, les habiletés de la L2 peuvent surpasser les compétences de la langue maternelle. En effet, les compétences dans l'une des langues se réduisent à des fonctions de la communication interpersonnelle de base adoptées dans la vie quotidienne. Ces situations illustrent le cas du *bilinguisme non équilibré*.

1.2.3. Le rapport des statuts socio-culturels des deux langues

Le bilinguisme est influencé par les statuts socio-culturels des deux langues qui représentent les facteurs macrosociologiques pouvant conditionner le développement du langage. En fait, le statut socio-culturel d'une langue diffère selon la valeur culturelle qui lui est allouée et en fonction de son utilité pratique. Selon Lüdi (1998), ce phénomène se développe quand les deux langues ne renvoient pas au même niveau de prestige social. La compétence linguistique bilingue est *additive* quand les deux langues sont valorisées socialement et culturellement et quand elles assurent un rôle complémentaire. Dans cette situation, le développement du bilinguisme est marqué, et par la suite ses avantages cognitifs sont ressentis. Le fait de parler ces deux langues est considéré comme un atout pour la vie scolaire, pour l'avenir professionnel et la promotion sociale de l'individu. Ce point de vue aura des effets sur l'image qu'a l'enfant de son bilinguisme et sur sa motivation à le préserver et à le valoriser. Pour Hamers et Blanc (1983), deux conditions doivent être réunies pour le développement d'un bilinguisme additif. Tout d'abord, l'enfant doit être capable d'effectuer des activités cognitives complexes dont des activités métalinguistiques. Par ailleurs, les deux langues doivent être valorisées par le milieu environnant de l'enfant.

Le bilinguisme additif est souvent rencontré chez les enfants bilingues précoces et les enfants bilingues précoces simultanés dont les deux langues sont valorisées et développées de manière équilibrée et adaptée au cours des tâches cognitives dès le plus jeune âge (Hamers, Blanc, 1983). En revanche, la compétence linguistique est *soustractive* lorsque les deux langues sont en compétition. En fait, l'acquisition de la seconde langue se déroule aux dépens des acquis en langue maternelle. Cela peut avoir des répercussions sur le développement cognitif et peut aboutir au phénomène d'attrition signant « la réduction ou le tassement des connaissances linguistiques initialement acquises » (Rezzoug *et al.*, 2007). C'est le cas de certaines langues minoritaires en France, notamment les langues d'immigration socialement moins prestigieuses dont l'arabe fait partie. En France, les enfants bilingues français-arabe négligent souvent leur langue maternelle au profit de la langue française dominante qui représente l'intégration sociale.

1.2.4. Le type de représentation cognitive

Hamers et Blanc (1983) définissent le bilinguisme selon la représentation cognitive des unités sémantiques ou selon le lien entre la pensée et la langue. D'après cette structure, le bilinguisme peut être composé, coordonné ou subordonné. Un bilinguisme est dit *composé* lorsque la personne bilingue possède une seule représentation mentale pour deux mots, un dans chacune des langues. Donc, l'individu possède deux systèmes linguistiques pour le même concept. C'est le cas du bilinguisme précoce simultané où les deux signifiants sont appris dans le même contexte. Dans la situation d'un bilinguisme *coordonné*, l'acquisition des deux signifiants s'effectue dans deux contextes distincts : une langue est pratiquée à l'école et l'autre adoptée à la maison. Alors, le sujet bilingue a un mot relié à une représentation mentale dans chacune des langues et posséderait donc deux systèmes linguistiques et deux concepts : c'est le cas du bilinguisme successif. Une personne bilingue peut posséder ces deux formes de bilinguisme : composée pour certains concepts et coordonnée pour d'autres. En ce qui concerne le bilinguisme *subordonné*, les compétences en langue maternelle sont acquises et solides depuis longtemps tandis que la deuxième langue est en cours d'acquisition. Ainsi, le sujet bilingue utilise la langue maternelle comme référente linguistique et ajoute les mots nouvellement acquis dans sa seconde langue sur ceux de sa langue maternelle. La personne bilingue traduit et cherche une équivalence.

1.2.5. L'identité culturelle

La cinquième et dernière dimension du bilinguisme renvoie à l'appartenance culturelle de l'individu. La langue fait partie de la culture. C'est un outil de communication qui permet aux individus de codifier et caractériser les composantes culturelles de leur société. Par le biais de la langue, la culture s'exprime et se transmet. De plus, une langue constitue une grande partie de l'identité d'une personne. Les personnes qui pratiquent plusieurs langues trouvent un équilibre entre deux cultures distinctes et elles appréhendent le monde avec une perspective plus large. Le bilinguisme crée des liens entre différentes cultures, stimule le développement individuel et améliore les opportunités.

Pour les bilingues, il est parfois difficile de savoir comment utiliser cet outil. Souvent, les jeux de mots ou les nuances de la langue sont difficiles à comprendre par les personnes bilingues. Ces dernières utilisent leurs langues dans des contextes et des rôles différents, dans des situations et des fonctions différentes, et avec des personnes différentes. Par conséquent, les langues se développent rarement d'une façon parallèle et uniforme (Morgan *et al.*, 2016). Le bilinguisme varie suivant que la personne maintient ou non son identité culturelle. Ainsi, un bilinguisme est *biculturel* lorsque la personne s'identifie positivement avec les deux groupes. Le bilinguisme est *acculturé* à la L2 lorsque la personne adopte l'identité de l'autre groupe en renonçant à sa propre identité. Le bilinguisme est *monoculturel* en L1 quand la personne maintient son identité propre tout en étant parfaitement bilingue. Enfin le bilinguisme est *acculturé anémique* lorsque la personne renonce à son identité et échoue dans l'adoption de la culture L2. Dans cet état, aucune appartenance culturelle n'est possible.

Après avoir parcouru les types du bilinguisme, nous allons décrire les facteurs influençant le développement langagier de l'enfant bilingue.

1.3. Les facteurs développementaux du langage chez l'enfant bilingue

Le développement langagier de l'enfant bilingue est influencé par plusieurs facteurs internes et externes. Les facteurs internes sont liés à l'individu et concernent ses caractéristiques propres, non affectées par le milieu environnant comme le genre (Reilly *et al.*, 2009 ; Kern, 2010) et l'âge chronologique.

Les facteurs externes influencent le développement langagier bilingue et l'« input » langagier de l'enfant. La quantité et la qualité des stimuli linguistiques (input) sont définies selon la durée d'exposition, la fréquence de contact, le contexte d'exposition précoce et actuelle aux langues, l'environnement dans lequel les langues sont apprises (Grobon *et al.*, 2019) et le niveau socio-économique (NSE) (Hoff, 2003 ; Golberg *et al.*, 2008 ; Grobon *et al.*, 2019). En fait, Il est bien établi que les enfants provenant d'un milieu socio-économique défavorisé présentent un développement langagier plus lent que les pairs issus d'un NSE plus aisé (Rescorla et Alley, 2001). Récemment, Grobon et ses collaborateurs (2019) ont effectué une large étude sur plus de 18000 enfants. Leurs résultats indiquent que le NSE influence surtout les capacités linguistiques des enfants. Par ailleurs, d'autres variables telles que le rang de l'enfant dans la fratrie (Berglund *et al.*, 2005 ; Kern *et al.*, 2010), l'effet de la langue maternelle (Kern 2003, Boudreault, Cabirol, Trudeau et Sutton, 2005) ou le niveau d'éducation des deux parents (Boudreault, 2006) influencent également le développement langagier de l'enfant bilingue.

1.3.1. Facteurs internes

L'âge chronologique.

La littérature a consacré beaucoup d'intérêt à l'âge du premier contact avec les langues et a révélé que les capacités linguistiques de l'enfant bilingue étaient sensibles à cette variable (Schwartz, 2004 ; Meisel, 2009). Pour Köpke (2013), l'effet de l'âge est lié à la plasticité cérébrale c'est-à-dire à la capacité du cerveau à remodeler les connexions synaptiques durant les apprentissages. L'auteur ajoute qu'il existe un âge limite ou critique, au-delà duquel l'acquisition d'une L2 ressemble à celle de l'apprentissage d'une L2 chez l'adulte. Certaines recherches ont rapporté une corrélation négative entre l'âge et la compétence en langue seconde (Kohl *et al.*, 2008 ; Kihlstedt *et al.*, 2009). Pour d'autres, la limite d'âge est située à partir de 3-4 ans (Schwartz, 2003 ; Meisel, 2009) ou après 6-7 ans (Dalgalian, 2000 ; Johnson et Newport, 1989).

La motivation.

La motivation constitue un facteur de base dans le développement du bilinguisme chez l'individu. Gordon (2013) rapporte les propos de Schumann (1997) et avance que : « ...chez l'enfant en bas âge, le désir de communiquer prime, c'est un besoin essentiel [...] il apprend autant de langues que nécessaire pour communiquer avec ses proches » (p. 43). Cependant, au cours de la période scolaire le « désir d'intégration » prend le dessus sur le désir de communiquer. Ainsi, l'enfant cherche à ressembler aux autres d'où l'idée de « conformisme » Köpke (2009). L'auteur ajoute que ce besoin social « se manifeste aussi au niveau des langues et peut parfois entraîner un refus d'utiliser la langue minoritaire en public, voire un rejet total de celle-ci ». En parallèle, la motivation pour apprendre la langue de ses pairs est maximale. Ce désir augmente vers l'adolescence où la façon de parler, tout comme la tenue vestimentaire ainsi que la langue, « deviennent un véritable drapeau, indispensable dans le processus de construction de l'identité ». Néanmoins, ce mécanisme de rejet de langue ne dure pas puisque le bilingue la réutilise ultérieurement comme signe de son identité et de son appartenance à une culture.

L'aptitude langagière.

L'aptitude langagière est la forme d'intelligence verbale liée à l'enfant et distincte de l'intelligence générale (Dörnyei *et al.*, 2003). Elle renferme les compétences en mémoire verbale, auditive et le raisonnement analytique (Wallon *et al.*, 2008 ; Paradis, 2011). Elle est à la base de variations individuelles et elle a été considérée comme un facteur prédictif de réussite dans l'acquisition de la L2 (Ranta, 2002 ; Paradis, 2011).

1.3.2. Facteurs externes

Ces facteurs sont plutôt liés au contexte d'acquisition, c'est-à-dire à l'environnement dans lequel les langues sont apprises. Ils déterminent principalement la quantité et la qualité des informations que l'enfant reçoit dans sa langue cible (Paradis, 2011).

L'exposition linguistique précoce.

Paradis (2011) précise que le contexte lié à l'acquisition dans chacune des langues (monolingue/bilingue, lieu, situation) conditionne la qualité (richesse de l'exposition linguistique) et la quantité (taux d'exposition linguistique) des données que l'enfant reçoit dans

sa langue cible. Ceci rend le développement langagier de l'enfant bilingue particulier. Quant à la durée d'exposition à la L1 et la L2, elle est déterminée par la différence entre l'âge actuel de l'enfant et l'âge du premier contact avec une langue donnée. Rappelons que chez les enfants bilingues simultanés, la durée d'exposition est répartie entre les deux langues (L1 et L2) puisqu'ils sont exposés à leur langue native et à une langue seconde dès la naissance. Cependant, les enfants bilingues consécutifs ne sont exposés à la L2 que plus tardivement, généralement au moment de l'entrée obligatoire à l'école (Bialystok, 2001 ; Butler et Hakuta, 2004). Ainsi, la quantité d'input linguistique reçu par l'enfant définie selon la durée et la fréquence d'exposition aux langues dans les différents contextes de communication est déterminante dans le développement de ses productions et influence l'acquisition du lexique et de la morphosyntaxe (Paradis, 2011). Dans cette perspective, certains travaux ont été effectués qui ont montré des corrélations positives entre le développement du lexique expressif et la durée d'exposition à la langue (Bohman *et al.*, 2010 ; Gathercole *et al.*, 2009 ; Thordardottir, 2011). D'autres études ont montré que l'input influence la production vocabulaire précoce (Gatt *et al.*, 2008) et l'utilisation de mots équivalents (Montanari, 2010).

La pratique des langues.

La pratique des langues et les contextes d'utilisation sont essentiels pour le développement du bilinguisme (Köpke, 2009). L'enfant apprend les langues pratiquées autour de lui et il les apprend en les utilisant. Cependant, lorsque l'individu n'a plus l'occasion de parler l'une d'entre elles, elle peut être très rapidement oubliée d'où le phénomène « d'attrition ». Plusieurs chercheurs ont signalé ce phénomène au niveau de la première langue L1 même si la deuxième langue n'est pas suffisamment maîtrisée. L'attrition de la L1 est liée à plusieurs facteurs tels que l'âge de premier contact à la langue, la maturité cognitive de l'enfant, la valeur et la durée attribuée à la langue et la fréquence d'exposition à la langue (Bedore et Peña, 2008 ; Paradis, 2011 ; Thordardottir, 2011). C'est souvent le cas des enfants adoptés (Nicoladis et Grabois, 2002 ; cités par Köpke, 2013). De plus, le décès d'une personne avec laquelle l'enfant pratique cette langue, ou le changement du contexte linguistique lié souvent à un changement de pays (Schmitt, 2004 ; cités par Köpke, 2009), conduisent également à cette situation d'attrition. Köpke (2009) ajoute que les deux langues ne se développent pas nécessairement au même rythme chez une personne bilingue. Ce mécanisme se joue parfois sur plusieurs années. Parfois une langue est plus faible que l'autre parce qu'elle n'est pas suffisamment pratiquée tout au long de l'année. Néanmoins, cette même langue peut largement progresser lors d'un séjour dans un pays pendant les vacances.

Les contextes d'utilisation.

En ce qui concerne le contexte linguistique, Köpke (2009) rapporte qu'« *on ne s'exprime pas de la même façon et sur les mêmes choses en famille et à l'école, dans des contextes informels ou formels, à l'oral et à l'écrit. A chaque situation correspondent des besoins spécifiques, une façon de parler, un vocabulaire, des règles de comportement* » (cité par Dana Gordon, 2013 p. 42). Par exemple, la langue utilisée en classe diffère de celle adoptée en famille ou bien dans la cour de récréation. En outre, Abdelilah Bauer (2006) a proposé la notion de compétence communicative en révélant que la majorité des bilingues se caractérise par une commande fonctionnelle de deux ou plusieurs langues correspondant aux exigences de leurs contextes de vie. Pour l'auteur, Il est rare que les besoins linguistiques couvrent toutes les activités linguistiques dans les deux langues, de la conversation familiale, au discours politique à l'oral, du petit mot à l'article scientifique à l'écrit. Donc, la compétence dans les deux langues est plutôt complémentaire.

La typologie des langues.

Köpke (2009) souligne une autre variable liée aux caractéristiques linguistiques des deux langues. Bien que les études empiriques dans ce domaine sont peu nombreuses, il est probable que la représentation et le traitement des deux langues ne soient pas exactement les mêmes selon qu'elles soient structurellement proches (espagnol/catalan) ou plus éloignées (français/breton). Pour l'auteur, « *deux langues proches partagent l'essentiel de leurs règles grammaticales, ce qui leur permet d'utiliser les mêmes processus psycholinguistiques* » Néanmoins, « *le risque d'interférence entre elles est de ce fait également plus fort* » (Köpke, 2009). Pour Unsworth (2005), un phénomène de transfert se produit entre les deux langues. En fait, la L1 peut exercer une influence sur la L2 mais ceci dépend du degré de proximité structurelle entre les deux. Si les deux langues partagent des caractéristiques communes le transfert est positif. A titre d'illustration, si l'enfant apprend une L2 contenant des déterminants, il ne les omettra pas si sa L1 en contient-elle aussi (Zdorenko *et al.*, 2008). Cependant, dans le cas où les deux langues sont structurellement différentes, le transfert peut être négatif comme par exemple si la position du verbe dans la phrase n'est pas la même dans la L1 et dans la L2. Pour (Haznedar, 1997), un jeune enfant turc qui apprend l'anglais peut commettre des erreurs d'ordre des mots dans la L2. Le transfert des propriétés de la L1 à la L2 a donc une influence sur l'acquisition langagière bilingue (Paradis, 2011). A leurs tours, Coderre, Guo et Dijkstra (2011) ont réalisé une étude sur les effets des similarités entre les langues en adoptant la tâche de Stroop comme outil d'évaluation. Les résultats montrent une légère différence au niveau des

résultats quand les trois langues diffèrent légèrement au niveau de l'écrit. Des résultats similaires ont été obtenus avec d'autres auteurs, relevant que les similarités entre les langues sur le plan lexicale, grammaticale et phonologique sont basiques dans la modélisation du degré des mécanismes du contrôle cognitive au cours du traitement du langage chez les personnes bilingues (Rodriguez-Fornells, De Diego Balaguer et Münte, 2006).

Soulignons enfin que d'autres facteurs externes peuvent avoir des effets sur le développement langagier des enfants bilingues tels que la culture et la nature du contact avec les différentes langues (Bedore et Peña, 2008). Pour Paradis (2010), il est indispensable de prendre en compte la langue pratiquée à la maison dans le cas de familles immigrées, non seulement dans le maintien de leur langue maternelle mais aussi dans l'acquisition de la langue étrangère du pays. Le même auteur précise également que les activités parascolaires (la lecture de livres et d'histoires) ainsi que les médias (télévision, internet etc.) assurent une fonction d'apprentissage de qualité et favorisent la diffusion de langues étrangères. Par ailleurs, le contexte d'exposition aux langues choisi par les parents influence l'acquisition linguistique chez l'enfant. Dans certains pays comme Malte (Gatt *et al.*, 2008) et le Liban (Abou, 1962), les enfants peuvent se situer dans un bilinguisme simultané ou séquentiel selon la qualité et de la quantité des stimuli linguistiques reçus dans les différents contextes.

Après avoir abordé les différentes variables en lien avec le développement du langage bilingue chez l'enfant, nous présentons maintenant les apports des travaux neuro-anatomiques sur le bilinguisme.

1.4. Approches neuro-anatomiques du bilinguisme

De nombreux auteurs s'accordent pour avancer que l'architecture fonctionnelle et structurale du cerveau dépendent de la génétique, de l'environnement et de l'expérience de l'individu (Golestani *et al.*, 2011 ; Yoon *et al.*, 2011 ; cités par Ressel, 2012). Ainsi, nous nous interrogeons sur les effets possibles du bilinguisme sur la neuro-anatomie du cerveau, et plus particulièrement sur les régions préfrontales vu que le contrôle exécutif est régulièrement impliqué quand le langage est sollicité. En effet, le bilinguisme engage des mécanismes cérébraux plus précocement chez les bilingues que chez les monolingues et les maintient plus tardivement. Dès l'enfance, le cerveau d'un enfant bilingue passe en permanence d'une langue

à une autre. Ce processus favorise le développement des fonctions cérébrales comme les fonctions exécutives (FE) localisées au niveau des régions préfrontales. Les premières études ont été effectuées auprès des patients aphasiques bilingues (Pitres, 1884 cités par Hernandez *et al.*, 2000). Les chercheurs ont trouvé que certains patients aphasiques bilingues récupèrent les deux langues en même temps tandis que d'autres arrivent à récupérer une langue plus rapidement que l'autre. De rares patients bilingues aphasiques ont rencontrés des troubles pour une seule des deux langues (Hernandez *et al.*, 2000). Avec les progrès techniques en neuro-imagerie, les structures neuro-anatomiques des personnes bilingues ont été analysées plus finement, notamment chez les bilingues sains. Les études tiennent compte en général de l'âge d'acquisition de la L2 et du niveau de maîtrise de la seconde langue. La plupart inclut également un groupe de contrôle composé de sujets monolingues. Aron et ses collaborateurs (2007) cité par Hervais-Adelman et al (2011) ont proposé à des bilingues des activités permettant l'alternance entre deux langues et ils ont relevé l'activation d'un large réseau cortical composé par le lobe pariétal, le sillon temporal supérieur postérieur et le gyrus frontal inférieur gauche. Au cours des tâches de traduction et d'interprétation, un réseau cortico-sous-cortical latéralisé à gauche incluant les ganglions de la base, le gyrus frontal inférieur et le cortex préfrontal dorsolatéral (CPFDL) est sollicité. Hervais-Adelman et ses collaborateurs (2011) ont démontré que deux réseaux cérébraux distincts sont mobilisés dans le contrôle exécutif du langage : le premier, situé entre le cortex frontal et les ganglions de la base jouant un rôle primordial dans l'inhibition de la langue non cible pendant la production du langage. Ensuite, les ganglions de la base permettant de choisir un terme dans une langue et non pas dans l'autre au cours de la traduction. Le deuxième étant le réseau cortico fronto-pariétal assurant un rôle fondamental dans le mécanisme d'alternance entre deux langues mais aussi dans d'autres fonctions exécutives. Précisons que ces systèmes s'activent chez la personne bilingue d'une façon conjointe avec les aires cérébrales spécifiques du langage.

D'autres travaux en neuro-imagerie menés par Rubio-Fernandez et Glucksberg (2012) ont révélé que certaines régions du cortex cérébral (comme le cortex préfrontal dorsolatéral, le gyrus frontal inférieur gauche, le gyrus temporal médial gauche et le cortex cingulaire antérieur) sont engagées dans l'alternance et dans le traitement double des deux langues. Le CPFDL est impliqué dans les tâches qui exigent le choix d'une réponse adaptée par rapport au contexte. Cette région est également sollicitée au cours de l'alternance entre deux langues et elle fonctionne avec d'autres zones telles que l'aire motrice supplémentaire, le lobe pariétal supérieur et le gyrus précentral. Ainsi, en demandant aux personnes bilingues précoces de

dénommer des images dans une situation où il faut alterner entre deux langues, elles engagent une série d'aires cérébrales en lien avec les fonctions exécutives dans les processus moteurs, l'articulation et la recherche phonologique.

Garbin et ses collaborateurs (2010) ont étudié les différences neurologiques du contrôle cognitif non-linguistique entre des sujets bilingues et monolingues par le biais d'un stimulus bivalent et un indice forme/couleur. Les résultats ont montré une plus grande activation du gyrus frontal inférieur gauche (GFIG) chez les bilingues par rapport aux monolingues. Le GFIG a été activé dans le déplacement (switching) linguistique (Luk *et al.*, 2011). Cette région est indispensable pour la production orale et elle est plus activée chez les bilingues que chez les monolingues (Parker Jones *et al.*, 2011, cités par Bialystok *et al.*, 2012). Donc, chez les personnes bilingues, le GFIG semble être une des zones cérébrales de chevauchement dans le switching linguistique et dans le contrôle cognitif non linguistique (Bialystok *et al.*, 2012). Par ailleurs, de nombreux travaux se sont intéressés au cortex cingulaire antérieur (CCA) chez les personnes bilingues (Guo *et al.*, 2011 ; Abutalebi *et al.*, 2008 ; cités par Bialystok, 2012). Dans un travail réalisé en 2007, les auteurs ont suggéré l'implication des fonctions exécutives et du traitement moteur suite à une activité augmentée de CCA et du noyau caudé pendant une condition mixte (alternance entre deux langues). Ces données mettent l'accent sur le rôle assuré par les systèmes frontaux chez les personnes bilingues afin de diriger leur attention vers le langage. Le cortex auditif chez les personnes bilingues a également été étudié (Wong *et al.*, 2008, cités par Ressel *et al.*, 2012). Les auteurs ont révélé une corrélation positive entre la capacité de percevoir les sons d'une langue étrangère et le volume du gyrus de Heschl (ou gyrus temporal transverse). En fait, le gyrus de Heschl gauche est plus étendu chez les bilingues ce qui montre l'effet du bilinguisme sur le volume du cortex auditif (Ressel *et al.*, 2012).

Par ailleurs, la densité de la substance grise est plus élevée dans les régions du lobe pariétal inférieur (Mechelli *et al.*, 2004, cité par Bialystok, 2012) et une meilleure connectivité des deux hémisphères cérébraux, notamment du corps calleux et des faisceaux longitudinaux supérieurs bilatéraux permettant ainsi une meilleure connexion antéro-postérieure chez les personnes âgées bilingues (Luk, Bialystok, Craik et Grady, 2011). Ces avancées évoquent l'importance du bilinguisme dans la préservation de la substance blanche chez les personnes bilingues. Les mêmes résultats sont observés auprès des enfants bilingues au niveau du faisceau fronto-occipital inférieur gauche (Mohades *et al.*, 2011).

Après avoir évoqué les apports neuro-anatomiques des travaux chez les personnes bilingues, nous nous intéressons dans ce qui suit aux particularités du système éducatif au Liban. Cette présentation nous paraît nécessaire dans la mesure où la contribution expérimentale de ce travail est menée au Liban.

1.5. Le système éducatif bilingue au Liban

Depuis 1996, la loi impose dans les écoles publiques une distribution à part égale entre les heures consacrées à la langue officielle arabe et à une langue étrangère - le français ou l'anglais - à partir des classes de maternelle, ainsi qu'un enseignement d'une deuxième langue étrangère (français ou anglais). Ces deux langues sont fréquemment adoptées pour l'apprentissage dans les écoles privées libanaises. Elles sont utilisées dans l'apprentissage de matières non linguistiques comme les mathématiques, la science et la géographie. En revanche, la langue officielle arabe domine en matière de littérature et elle est réservée à l'apprentissage de la lecture, de la grammaire et de l'écriture. Toutefois, les professeurs utilisent le parler libanais pour les activités improvisées et ludiques et les professeurs de sciences et de mathématiques ont tendance à mélanger les langues étrangères aux parlers et jamais à l'arabe littéral afin de clarifier une notion ou de l'expliquer. Les élèves libanais se trouvent majoritairement scolarisés dans des écoles « francophones » où ils apprennent l'anglais en troisième langue (Hoteit, 2010) ou dans des écoles « anglophones » où la langue française constitue la deuxième langue étrangère à apprendre. En fait, la constitution libanaise a donné une place privilégiée à la langue française dans le cadre de l'enseignement public. Le français est autant enseigné que l'arabe et constitue la langue privilégiée des matières scientifiques (mathématiques, sciences), de l'histoire et de la géographie dans la plupart des écoles libanaises (Hoyek, 2004).

En ce qui concerne les secteurs éducatifs, « le système scolaire se répartit entre trois types d'écoles dont le niveau et la qualité d'instruction sont variables selon les régions et les établissements : publiques gratuites, privées gratuites et privées payantes » (Nimer, 2013, sitographie) que nous schématisons (cf. annexe. 1). Chaque secteur possède ses propres règlements, bénéficie de la liberté de l'enseignement et travaille dans le but de la réussite de leurs élèves aux examens officiels. Ces secteurs possèdent un nombre déterminé d'apprenants

et présentent des taux de réussite différents : "...ce système scolaire est à l'origine d'une situation paradoxale, car d'un côté, il a développé la compétitivité entre les écoles et, d'un autre côté, il a augmenté le clivage » entre les étudiants du même pays (Khoury, 1998, p.39). En fait, les élèves « issus de milieu aisé se recrutent davantage dans les établissements privés et semi privés et les moins favorisés se dirigent vers l'enseignement officiel » (Naaman, 1979, p.168).

Le secteur public.

Les écoles publiques libanaises sont gratuites. Elles sont financées par l'État sous la dépendance directe du ministère de l'Éducation nationale. Elles sont essentiellement côtoyées par les couches sociales défavorisées dont le niveau d'instruction moyen est relativement faible. Le bilinguisme familial et social n'apparaît pas beaucoup dans la région rurale de l'école publique.

Le secteur privé payant.

Ce secteur comporte deux catégories d'écoles : les écoles étrangères et les écoles nationales. En effet, les écoles étrangères sont les plus réputées et elles sont créées majoritairement par les missions étrangères françaises ou anglaises. Ces dernières jouent un rôle essentiel dans la diffusion de la langue française. Ces écoles offrent en principe les enseignements les plus onéreux. Quant aux écoles nationales, elles sont dirigées par les différentes communautés religieuses du pays. Les élèves qui fréquentent ces écoles appartiennent à la classe moyenne. Souvent, les familles provenant d'une classe sociale inférieure à la moyenne s'endettent pour inscrire leurs enfants dans ses établissements scolaires qui sont des écoles confessionnelles chrétiennes ou des écoles confessionnelles musulmanes.

Le secteur privé gratuit.

Les écoles privées gratuites sont en nombre très limité au Liban. Elles sont créées par des associations religieuses qui les financent avec l'État. Elles sont essentiellement fréquentées par les catégories sociales modestes et réclament des frais d'inscription modestes et fixes. Chaque année, le ministère envoie des maîtres inspecteurs dans ses écoles afin de contrôler le nombre d'élèves, leurs niveaux et la situation financière de l'école. Dans ces écoles, l'enseignement s'avère de niveau assez modeste mais nombreuses sont les familles de la classe moyenne à modeste qui optent pour ces écoles. Ces familles veulent offrir à leurs enfants une éducation plus qualifiée que celle offerte par l'école publique.

Enfin, les écoles publiques ou privées possèdent la liberté de choisir la L2. S'ils choisissent la langue française comme 1^{ère} langue étrangère, celle-ci sera enseignée dès la première année scolaire au même moment que l'arabe littéral et sera la langue d'enseignement des disciplines scientifiques jusqu'aux classes terminales. Dans ce cas, la seconde langue étrangère sera l'anglais enseignée du cycle primaire à l'école privée (en raison de 3 ou de 2 périodes hebdomadaires selon les décisions des directions) jusqu'au cycle complémentaire à l'école publique en raison de deux périodes hebdomadaires. Dans le cas où l'école choisit l'anglais comme sa première langue étrangère, elle adopte la même politique éducative décrite ci-dessus et le français sera considéré comme L2 étrangère. Si la langue française est majoritaire dans l'enseignement public, le secteur privé développe de plus en plus des écoles anglophones. De nombreux élèves scolarisés en français adoptent l'anglais pour leurs études universitaires, essentiellement pour augmenter leurs chances d'emploi et devenir trilingue étant donné que la langue anglaise est associée au commerce et au monde des affaires.

Conclusion

La vision des chercheurs sur le bilinguisme a connu une évolution considérable depuis les premiers travaux de Peal et Lambert (1962). Actuellement, le bilinguisme est diversement caractérisé selon les auteurs. Dans le cadre de cette thèse, nous retenons la position de Grosjean (2010) qui a introduit la notion de « compétence communicative évolutive » et de « complémentarité entre les langues » du fait que le bilinguisme est évolutif et que plusieurs facteurs interagissent et influencent le développement du langage chez un enfant bilingue, comme l'âge d'acquisition de la L2, la culture, le genre...

De plus, les besoins linguistiques peuvent changer en fonction de la modification des conditions de vie (déménagement, décès d'un parent...) et entraîner des changements profonds dans l'utilisation et la pratique des langues (De Bot 2007, cité par Köpke, 2009). Toutefois, les langues présentes dans le répertoire langagier d'un individu ne sont ni juxtaposées, ni superposées, mais fonctionnent comme des systèmes intégrés mettant en œuvre une compétence plurielle, complexe mobilisant à tous les moments toutes les variétés disponibles dans son répertoire.

Dans le contexte libanais, le parler libanais s'est développé à partir d'un mélange de langues et de vocabulaires différents jusqu'à ce qu'il prenne sa forme actuelle. De nos jours, la société libanaise se caractérise par la pratique quotidienne de plusieurs systèmes et variétés linguistiques (cf. annexe. 2). La présence conjointe de l'arabe standard et du parler libanais sur son territoire s'accompagne d'une faible présence de l'arménien et même du kurde, face à une forte présence du français et de l'anglais, notamment dans le secteur des médias, de la communication et à travers l'espace virtuel créé par les nouvelles technologies. Le bilinguisme dans le contexte libanais a toujours bénéficié des représentations positives dans l'esprit des Libanais. Les statistiques menées en 2015 sur ce sujet montrent que 93,7% de la population libanaise pratiquent dans leurs échanges quotidiens à l'oral l'arabe libanais. Le français et l'anglais représentent les deux langues secondes qui cohabitent majoritairement aux côtés de l'arabe libanais : 45 % pour le français et 40 % pour l'anglais (Jabbour, 2004 ; Leclerc, 2015). Ainsi, le trilinguisme caractérise le Liban qui se distingue par sa société multilingue. Si les établissements scolaires imposent l'enseignement précoce des langues étrangères pour l'enseignement des différentes matières, les garderies, la télévision et la technologie jouent également un rôle fondamental dans l'acquisition des langues chez les enfants libanais.

Actuellement, plusieurs auteurs s'accordent sur les avantages du bilinguisme, notamment au niveau des fonctions exécutives, ce qui nous amène au chapitre suivant.

CHAPITRE 2

Les fonctions exécutives : développement et dysfonctionnement

Le concept de fonctions exécutives renvoie à « un ensemble d'habiletés de haut niveau nécessaires à la réalisation d'un comportement dirigé vers un but, sous la dépendance essentiellement du lobe frontal et de ses réseaux » (Roy *et al.*, 2012). Ces fonctions sont conjointement mobilisées dans des situations non routinières, nouvelles, conflictuelles ou dans la réalisation de tâches complexes (Diamond, 2016). Elles sont également sollicitées dans la résolution de problème et dans la théorie de l'esprit (Madiou et Swiatek, 2018).

Récemment, plusieurs auteurs ont mis l'accent sur le rôle des fonctions exécutives dans le développement psychologique de l'enfant, dans la régulation du comportement humain et dans la mise en place des acquisitions académiques et linguistiques (Bull et Lee, 2014 ; Guerra *et al.*, 2019). Elles accomplissent un rôle transversal et intégratif ce qui a poussé certains chercheurs à les comparer à un chef d'orchestre du cerveau qui supervise et régule l'ensemble des fonctions cognitives et émotionnelles. En tant que chef d'orchestre, leur but est d'assurer une coopération harmonieuse et surtout efficace de l'ensemble des fonctions mentales (les musiciens), en fonction du but poursuivi par la personne (la partition de musique) (Moret et Mazeau, 2019). Ainsi, les fonctions exécutives représentent la base du fonctionnement cognitif et socio-émotionnel de tout individu (Diamond, 2013 ; Miyake *et al.*, 2000).

Ce chapitre a pour but de présenter les fonctions exécutives, le développement de ce concept et des principales composantes mises en jeu dans les performances : l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mémoire de travail (MDT). Nous aborderons ensuite les facteurs pouvant influencer le développement de ces composantes exécutives, notamment le bilinguisme. Nous clôturons le chapitre par les caractéristiques des troubles exécutifs pouvant être retrouvés chez les enfants d'âge scolaire dans le cas de syndrome dysexécutif. Dans ce contexte, l'évaluation des fonctions exécutives s'avère indispensable à travers des outils spécifiques et adaptés afin d'établir les modalités de la prise en charge pour l'enfant.

2.1. Aperçu sur les fonctions exécutives

Les études sur les fonctions exécutives ont une longue histoire. Ce sont les lésions frontales et leurs répercussions sur le comportement de l'individu qui ont poussé les chercheurs à étudier le fonctionnement exécutif (Zesiger, 2009). Les premiers pas vers la découverte se sont réalisés à travers l'analyse du mécanisme d'une perte de cette aptitude et la mise en relation avec les atteintes cérébrales observées particulièrement les lésions du cortex préfrontal (CPF).

Au milieu du XIX^{ème} siècle, l'identification des fonctions du lobe frontal et des troubles particulières que les lésions engendrent dans cette région ont été réalisées grâce à la description de « Phineas Gage ». Le cas de ce jeune patient de 25 ans fut un des principaux déclencheurs, justifiant par la suite une approche fondée sur des observations anatomo-fonctionnelles (Godefroy *et al.*, 2008 ; Roy *et al.*, 2012). Harlow (1868) a été le premier à évoquer le cas de Phineas qui a été gravement blessé par une barre de fer sur la tête. Le patient s'est rétabli rapidement sur le plan physique et Harlow ne signale aucun déficit neurologique. Toutefois, les proches du patient révèlent un changement comportemental. Il est décrit comme grossier, inconstant et capricieux. Suite à une nouvelle consultation, Harlow et son équipe ont relevé des troubles du jugement, un déficit dans les prises de décisions ainsi que des troubles des conduites sociales et de la personnalité. Bien que les performances cognitives et motrices de Phineas sont inaltérées, il s'est avéré souffrir d'une « sociopathie acquise » liée à une atteinte des zones préfrontales. Cent ans après l'observation de Phineas Gage, Ackerly et Benton évoquent le cas d'un patient (J.P.) ayant subi des atteintes au niveau du lobe frontal pour des causes périnatales. Les auteurs décrivent chez lui des comportements sociaux, sexuels et scatologiques inappropriés, associés d'une pauvreté des relations sociales et d'une indifférence affective. Après la seconde guerre mondiale, Alexander Luria (1966) un neuropsychologue russe fut le premier à introduire le terme des fonctions exécutives. Luria a réalisé plusieurs travaux sur les troubles liés à une lésion du lobe frontal et il a décrit chez ces patients des performances défaillantes dans les situations qui nécessitent « une définition claire du but, dans la planification des différentes étapes avant l'exécution, dans l'agencement des séquences d'actions, de passer de l'une à l'autre et de vérifier par la suite si le but est atteint ». Les travaux empiriques ultérieurs ont depuis soutenu la conceptualisation hiérarchique des fonctions frontales de Luria et ont étendu cette conceptualisation pour englober une caractérisation des structures hiérarchiques dans le cortex préfrontal (CPF).

Au cours de ces quinze dernières années, plusieurs modèles des fonctions exécutives ont émergé, avec des divergences sur la manière de les définir quant au nombre ou la qualité des différentes composantes des fonctions exécutives. Nous développerons ci-dessous les principaux modèles des fonctions exécutives.

2.2. Les modélisations des fonctions exécutives

Au départ, le fonctionnement exécutif était considéré relativement « unitaire » (Norman et Shallice, 1986, Baddeley et Hitch, 1974 ; Zesiger, 2009). Ensuite, d'autres travaux ont mis l'accent sur la diversité des fonctions exécutives (Baddeley, 1986 ; Norman et Shallice, 1986). Des chercheurs ont ajouté la composante de planification et la fluidité (Monette et Bigras, 2008). Zelazo et ses collaborateurs (2005), quant à eux, ont distingué les fonctions exécutives froides des fonctions exécutives chaudes. Les fonctions exécutives chaudes s'appliquent à des événements avec enjeux émotionnels et motivationnels. Tandis que les froides se mobilisent au cours des problèmes abstraits et décontextualisés. Actuellement, il est généralement reconnu dans la littérature scientifique l'existence de trois fonctions exécutives principales, distinctes mais interdépendantes : l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mise à jour en mémoire de travail (Miyake *et al.*, 2000). Ces composantes sont développées ci-dessous, ainsi que les principales tâches permettant de les évaluer.

Afin d'exposer le cadre théorique dans lequel nous nous situons, nous prenons le parti de développer les principaux modèles théoriques sur lesquels s'est construite notre propre conception des fonctions exécutives.

2.2.1. Luria (1966)

Luria (1966) est le pionnier du modèle neuro-anatomique en proposant une modélisation et un fractionnement des fonctions exécutives (cité par Gordon, 2013). Face à des tâches de résolution de problèmes, l'auteur identifie chez des sujets cérébro-lésés frontaux des déficits à établir un plan précis de résolution, à préciser les contraintes liées au problème et un comportement impulsif, phénomène qu'il associe à un déficit au niveau de l'autorégulation. Ainsi, il met en évidence certaines facultés impliquées dans la résolution de problèmes comme l'anticipation, la planification, l'exécution du programme et la confrontation du résultat avec les données initiales. Luria a également décrit plusieurs systèmes : un système axial ressemblant

à une plate-forme mémoire, attention et apprentissage sur laquelle se déroule toute activité consciente ; un système latéralisé, chargé des fonctions instrumentales ; et le système antérieur ou frontal qui permet la coordination entre les deux systèmes précédents. Bien que ce modèle soit proche des conceptions récentes, il a fallu attendre le modèle théorique de Miyake, Naomi, Friedman, Emerson, Witzki et Howerter (2000) afin d'élaborer le concept d'un fonctionnement exécutif composé de 4 composantes partiellement autonomes (Luria 1966 ; cité par Godefroy *et al.*, 2008).

2.2.2. Norman et Shallice (1980/1986)

Suite aux travaux de Luria, de nombreuses études ont tenté d'identifier les fonctions du système exécutif. Norman et Shallice (*ibid.*) ont élaboré un cadre théorique mettant en avant le rôle assuré par le contrôle attentionnel. Les auteurs distinguent les actions routinières, automatisées, qui n'exigent pas d'attention particulière, des actions nouvelles qui réclament un contrôle attentionnel plus efficient pour être correctement accomplies à terme. Lors des activités quotidiennes, l'individu se sert de différents schémas d'actions, basés sur ses routines, auxquels il fait appel pour résoudre des situations. Ces schémas constituent l'unité de base du modèle et correspondent à des structures de connaissances qui permettent de contrôler les actions ou pensées sur-apprises déclenchées sans aide attentionnelle. Les schémas sont renforcés par la fréquence de leur utilisation. Cependant, lorsqu'une situation nouvelle, complexe ou à risque se présente, les schémas peuvent être inefficaces ou inappropriés. Face à cette situation, le système de supervision attentionnelle prend la relève afin de sélectionner les schémas à favoriser ou à inhiber. Ce type de fonctionnement sollicite fortement les fonctions exécutives. Norman et Shallice (*ibid.*) distinguent entre le schéma de bas niveau comportant la routine comportementale (comme le maintien de la tête et des yeux en regardant un rétroviseur lors de la conduite automobile) et le schéma de haut niveau renfermant l'ensemble des actions coordonnées à effectuer (à l'abord d'un feu rouge). Le degré d'activation de chaque schéma est induit par un des messages externes provenant de l'environnement (stimuli perceptifs), et/ou des messages internes provenant du sujet (intentions) ou bien lié à l'activation d'autres schémas associés. Le schéma est activé quand son seuil critique est atteint, dans ce cas l'action poursuivie aura lieu. Cependant, lors de l'activation simultanée de plusieurs schémas, « le gestionnaire de conflits », un système semi-automatique intervient immédiatement en déclenchant rapidement, après sélection, le schéma ou bien le groupe de schémas le plus adapté avec le but visé. Ceci dépend largement des mécanismes d'inhibition permettant de freiner l'activation des schémas ayant des ressources similaires (par exemple : il nous est impossible

de regarder à deux endroits en même temps). Le gestionnaire de conflits est mobilisé dans des situations nouvelles, non familières, durant lesquelles le sujet doit mettre en place une nouvelle stratégie et planifier son activité. Pour se faire, un autre système de sélection rentre en jeu, c'est le « Système Attentionnel Superviseur » (SAS) qui active ou inhibe des schémas d'action afin de résoudre la nouvelle situation en empêchant les erreurs et l'activation des réponses habituels.

Deux types de traitements attentionnels sont distingués : les traitements attentionnels automatiques et les traitements attentionnels contrôlés. Les traitements attentionnels automatiques sont activés en réponse à des situations environnementales familières et n'exigent pas de contrôle conscient. En revanche que les traitements attentionnels contrôlés requièrent un contrôle conscient et ils sont déclenchés face à des problèmes uniques. Le SAS est engagé dans la composante exécutive de la mémoire de travail en permettant de stocker, contrôler et traiter les informations adaptées. Il est également sollicité dans la mémoire, la planification, la prise de décision, l'estimation cognitive, la résolution de problèmes, les environnements dangereux, les situations nouvelles, l'inhibition d'erreur, la correction d'erreur et l'initiation d'actions. La sélection, la division, le maintien et la flexibilité font également partis des fonctions du SAS. La figure 1 illustre les différents systèmes du modèle de Norman et Shallice (1980).



Figure 1: Contrôle attentionnel de Norman et Shallice (1980)

2.2.3. Baddeley et Hitch (1974)

Ce modèle à conception unitaire est néanmoins modulaire puisque les informations visuelles ou auditives sont traitées distinctement de façon autonome. La mémoire de travail renferme la boucle phonologique (BP), le calepin visuo-spatial (CVS) et l'administrateur central. Baddeley accorde à l'administrateur central des capacités basiques telles que l'attention visuelle, l'attention divisée, la flexibilité et la récupération des informations en mémoire à long

terme. C'est le siège du contrôle exécutif permettant de contrôler et de traiter les données intégrées dans le CVS et la boucle phonologique. Ensuite, la BP est une mémoire temporaire verbale impliquée dans le stockage et le traitement des informations auditives et de la parole. Elle joue un rôle fondamental dans la lecture, l'écriture, la compréhension orale, le calcul mental et l'apprentissage des langues. Enfin, le CVS assure le stockage des informations visuo-spatiales. Ultérieurement, Baddeley (2000) a ajouté le buffer épisodique à son modèle. Il s'agit d'un système de stockage temporaire de capacité limitée permettant l'intégration des informations provenant de différentes sources et de différents types. La figure 2 illustre les différentes composantes de la mémoire de travail et le lien entre elles.

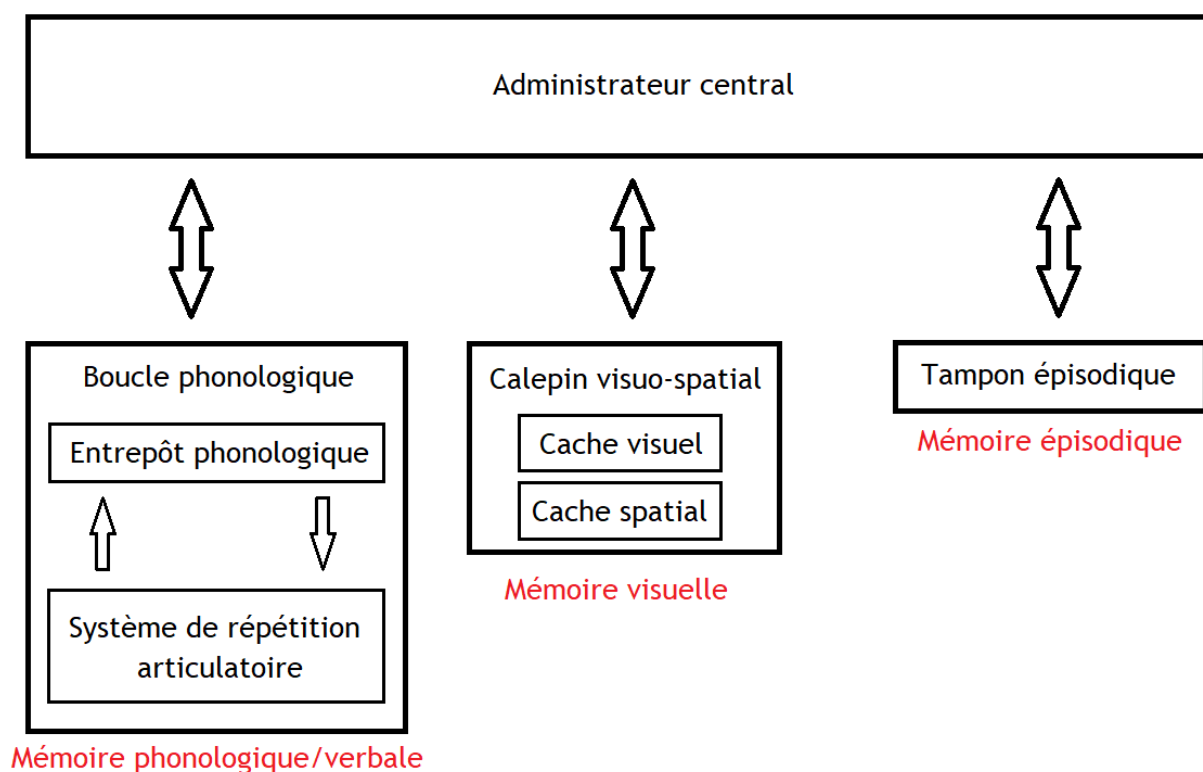


Figure 2: Représentation schématique du modèle de Alan Baddeley and Graham Hitch (1974)

2.2.4. Miyake, Naomi, Friedman, Emerson, Witzki et Howerter (2000)

Suite à un travail de recherche réalisé sur 137 jeunes adultes de l'université du Colorado, Miyake et ses collègues (2000) ont mis en avant la fonction de mise à jour de la mémoire de travail. Les auteurs considèrent cette fonction au même titre que l'inhibition et la flexibilité cognitive. Les trois composantes ont la particularité d'être différents, toutefois elles partagent entre elles des corrélations modérées. Ces corrélations sont justifiées par le fait que toutes les

épreuves utilisées font appel aux capacités d'inhibition ou à la mémoire de travail. Cela est expliqué par l'engagement des processus attentionnels, une composante exécutive à part entière impliquée dans le fonctionnement exécutif et dans toutes les tâches adoptées (Garon, Bryson et Smith, 2008 ; Roy *et al*, 2012). Le contrôle attentionnel ressemble au système de supervision attentionnelle de Norman et Shallice (1986).

Les travaux de Miyake sur la structure des fonctions exécutives et leur caractère varié ont poussé certains auteurs à suggérer le modèle « *Unity/diversity account* » étayé par des études plus récentes sur de larges échantillons (Friedman, Miyake, Robinson et Hewitt, 2011). Ainsi, un nouveau modèle a été proposé par Friedman *et al.* (2011) suite à une actualisation du modèle original de Miyake. La figure 3 illustre la nouvelle représentation du modèle de l'organisation cognitive des fonctions exécutives selon Friedman *et al.* (2011).

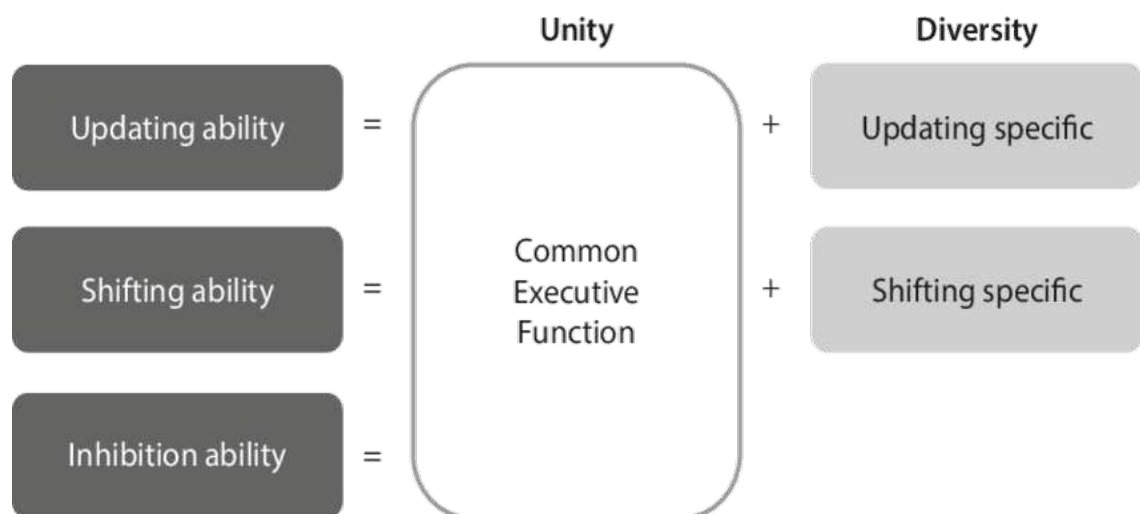


Figure 3: Représentation schématique du modèle de l'organisation cognitive des fonctions exécutives selon Friedman *et al.* 2011

Dans cette figure, chaque fonction exécutive principale résulte de la combinaison entre ce qui est commun à toutes les composantes ou « Common EF » (d'où l'aspect d'unité) et ce qui est spécifique à chaque composante (aspect diversifié). L'inhibition ne figure pas dans l'aspect diversifié puisque les analyses multidimensionnelles ne permettent pas de montrer une variance unique pour ce facteur après avoir contrôlé le poids du facteur « commun exécutif ». Cette fonction ressemble à un processus de contrôle général nécessaire à l'exécution de toutes les fonctions exécutives (Miyake et Friedman, 2012). Plus tard, Bailey, Jones et Partee (2015) ont ajouté la planification au modèle de Miyake.

2.2.5. Zelazo et Müller (2002)

Zelazo et Müller (2002) ont distingué le versant "froid" et "chaud" du fonctionnement exécutif selon le type de contexte dans lequel ces fonctions sont sollicitées. Le versant froid est connecté aux régions préfrontales dorsolatérales impliquées dans toutes les situations qui n'engagent pas un état émotionnel (Monette et Bigras, 2008 ; Roy *et al.*, 2012). Les fonctions exécutives froides sous-tendent une certaine logique, abstraite et décontextualisées comme la planification, l'inhibition, la flexibilité mentale et la mémoire de travail. Quant au versant chaud, il est associé aux régions orbitaires et ventro-médianes du cortex préfrontal. Ces zones correspondent aux contextes dans lesquels sont engagés de manière prépondérante des aspects affectifs, émotionnels et/ou motivationnels (Bechara *et al.*, 2000). Pour Roy et ses collègues (2012), d'autres processus tels que le traitement et la régulation des émotions, l'empathie ou la prise de décision affective font également partie du versant chaud. Elles renvoient à l'adaptation du comportement par rapport à l'autre et à la cognition sociale en fonction du contexte (Lancelot *et al.*, 2012). Roy et ses collaborateurs (2012) rapportent que cette distinction (versant chaud /froid) de Zelazo et Müller (2005) ne fait pas l'unanimité auprès des chercheurs malgré les travaux mettant en évidence la fonction des régions orbito-frontales et/ou médio-frontales des lobes frontaux dans la régulation du comportement social (Godefroy *et al.*, 2008).

2.2.6. Cowan (2005)

Cowan soutient la conception unitaire de la mémoire de travail, toutefois il propose contrairement à Baddeley une définition fonctionnelle plutôt que structurelle. L'auteur regroupe dans la mémoire de travail les informations accessibles lors des tâches en cours (composante de stockage) et les mécanismes permettant de maintenir cet état (composante de traitement). Ces deux composantes constituent un ensemble emboîté de processus. Trois niveaux de base sont distingués dans ce modèle. Dans le premier niveau, les informations sont stockées dans la mémoire à long terme mais elles ne sont pas activées. Cependant, quelques informations de la mémoire à long terme seront activées plus que d'autres ce qui constitue la « mémoire activée » (second niveau). Enfin, quelques informations sont fortement activées et accessibles à la conscience « focus attentionnel » (troisième niveau). L'allocation attentionnelle est chargée de l'état d'accessibilité des informations et elle est contrôlée par un processus de recrutement automatique de l'attention à travers des événements notables (comme des bruits,

des flash lumineux) et par un processus volontaire et cognitivement coûteux dirigé par le « *central executive* ». Ce dernier, est représenté par Cowan par une somme de processus mentaux et non pas une structure spécifique comme dans le modèle de Baddeley. Cowan précise que les mêmes ressources attentionnelles sont responsables du stockage et du traitement des informations. Chaque personne est capable de grandir son focus attentionnel à un nombre plus élevé d'éléments (zoom arrière) ou bien assurer un contrôle efficace qui se reproduit par un rétrécissement du focus attentionnel (zoom avant). Ceci dépend largement de l'administrateur central qui contrôle ces éléments et oriente l'attention sur certaines informations plus que d'autres. La figure 4 ci-dessous résume le modèle de Cowan.

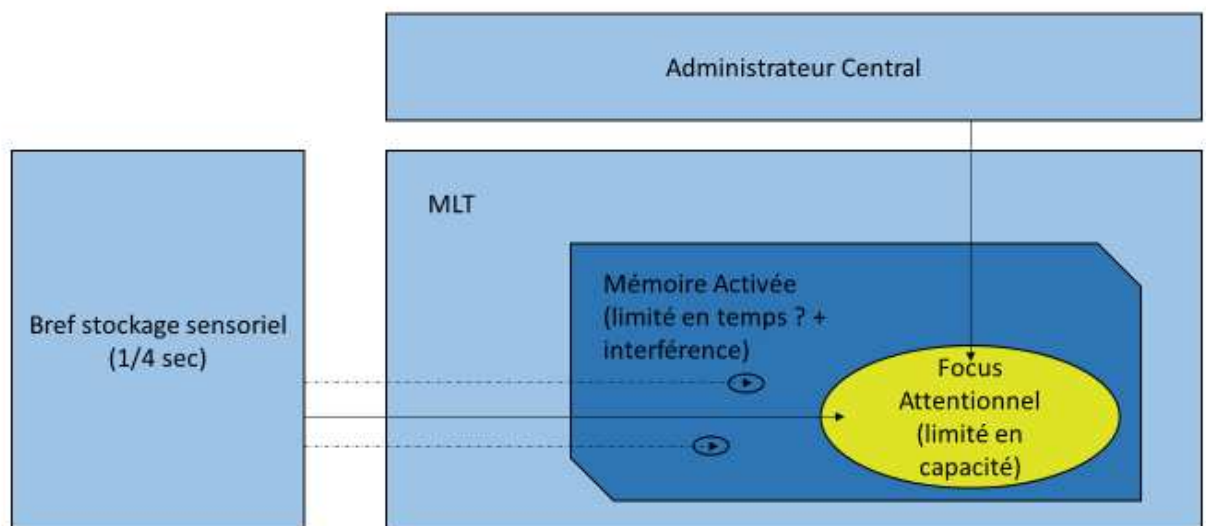


Figure 4: Modèle de la mémoire de travail de Cowan (2005)

2.2.7. Diamond (2013)

Les travaux menés chez l'enfant ont favorisé le principe d'un fractionnement des processus exécutifs. Malgré la variabilité du nombre de facteurs relevés d'un travail à l'autre, ces travaux ont contribué à promouvoir une vision hiérarchisée et intégrative des différentes fonctions exécutives (Dennis, 2006 et Diamond, 2013). Ces modèles sont caractérisés par une vision plus large et interactive des concepts liés aux fonctions exécutives. Le schéma ci-dessous illustre la relation entre les trois composantes exécutives : d'abord la mémoire de travail soutient le contrôle inhibiteur puisqu'il est indispensable de garder en mémoire les informations nécessaires et appropriées pour la tâche en cours. Réciproquement, le contrôle inhibiteur

soutient la mémoire de travail afin d'éviter l'encombrement de la mémoire de travail par des informations inutiles à l'activité en cours. Enfin, la flexibilité cognitive permet de changer de perspective grâce au contrôle inhibiteur qui inhibe d'une part le point de vue précédent et requiert d'autre part des compétences de la mémoire de travail. La dynamique du développement des fonctions exécutives est représentée ci-dessous dans la figure 5 (adaptée à partir de Diamond, 2013).

Par ailleurs, Diamond (2013) concrétise l'idée d'une ontogenèse hiérarchisée des diverses composantes exécutives, assujetties à la fois à un développement différencié avec l'âge et à des interrelations progressivement plus complexes. Le contrôle inhibiteur et la mémoire de travail (premières à se différencier d'après les études factorielles) sont les précurseurs du développement ultérieur de la flexibilité mentale (Anderson *et al.*, 2010 ; Diamond, 2013). Quand ces trois fonctions principales atteignent un premier état de maturité, les fonctions exécutives de plus haut-niveau comme la planification, la résolution de problèmes et le raisonnement commencent à se différencier (Collins et Koechlin, 2012). Donc, le développement exécutif est un processus non linéaire, asynchrone caractérisé par des poussées ou des pics de développement (Anderson, 2002).

Toutefois, le modèle de Diamond ne prend pas en compte la composante environnementale également impliquée dans le développement des fonctions exécutives (Er-Rafiqi *et al.*, 2017). En fait, de nombreuses études mettent en relief les effets des émotions et des humeurs positives dans le développement des fonctions exécutives (Storbeck et Maswood, 2016).

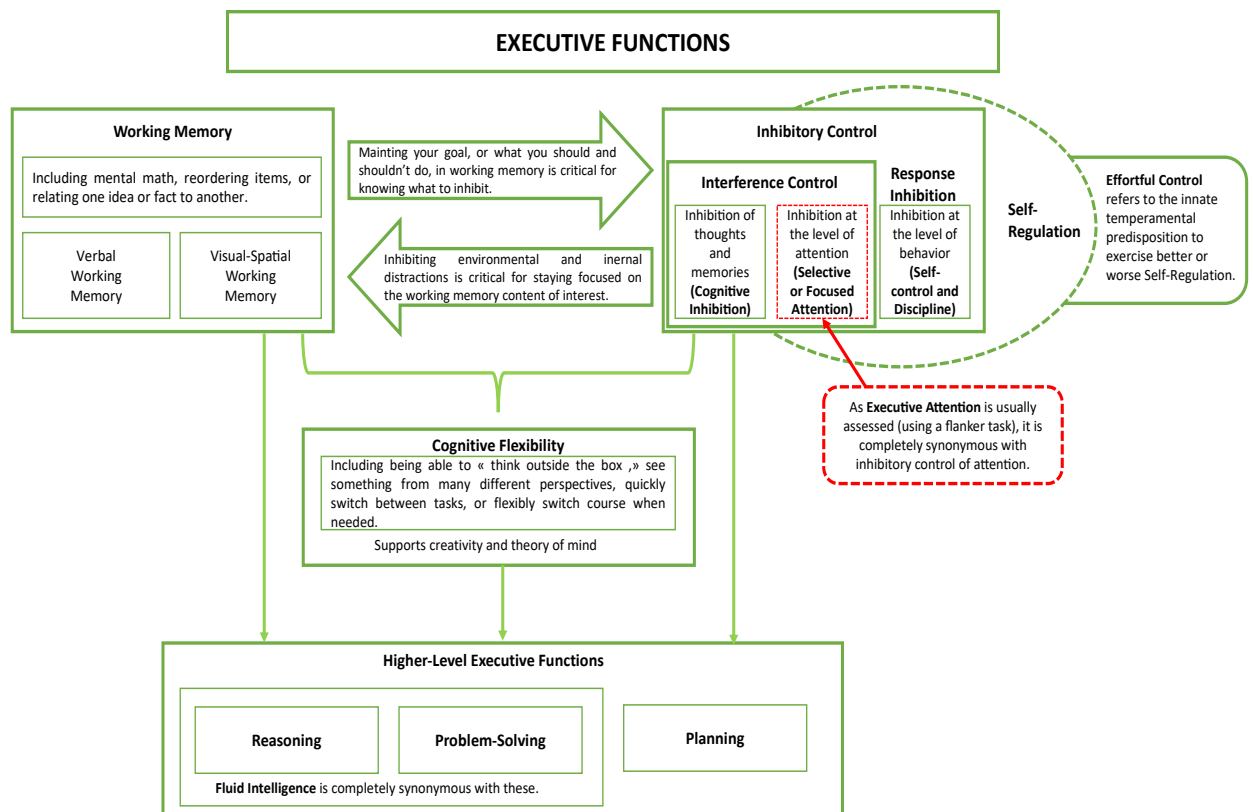


Figure 5: Modèle intégratif hiérarchisé proposé par Diamond (2013). Extrait de Diamond (2013).

2.3. Les principales composantes dans les fonctions exécutives

Les travaux ont permis de circonscrire trois composantes de base des fonctions exécutives : l'inhibition, la flexibilité et la mémoire de travail qui sont à la fois liées et différenciables les unes des autres (Miyake *et al.*, 2000 ; Diamond, 2013 ; Duval, Bouchard et Pagé, 2017). Chacune de ces composantes est décrite ci-dessous, ainsi que les principales épreuves permettant de les évaluer. Rappelons qu'à partir de ces trois principales fonctions se construisent d'autres fonctions exécutives d'ordre supérieur, comme la planification, le raisonnement et la résolution de problème (Collins et Koechlin, 2012 ; Roy *et al.*, 2012).

2.3.1. Le contrôle inhibiteur

L'inhibition ou « contrôle inhibiteur » est un ensemble de processus de contrôle, actifs et volontaires qui empêchent l'expression de comportements ou de pensées. Ces processus ressemblent à des "filtres" qui empêchent les informations inutiles par rapport à l'activité en cours (Censabella, 2007).

Diamond (2012) définit trois fonctions de base reliées au contrôle inhibiteur : le contrôle de l'attention, des comportements et des émotions. Illustrons ce triple rôle avec la situation d'un étudiant en situation d'examen. L'inhibition est la capacité qui lui permet de contrôler son attention, afin de rester attentif sur le sujet d'examen, et de résister aux distractions internes (e.g. sensation de fatigue) ou externes (e.g. le voisin qui fait tomber son crayon). Le contrôle inhibiteur est sollicité également dans le contrôle des émotions, afin que le stress ne nuise pas à ses performances. Enfin, les capacités inhibitrices de l'élève lui permettent de contrôler ses comportements, afin de ne pas réagir de manière impulsive, en l'empêchant à titre d'exemple de répondre rapidement aux questions et de tomber dans les pièges.

Par ailleurs, certaines études mettent en avant le rôle des processus inhibiteurs sur le langage, la mémoire et l'attention (Boujon, 2002 ; Censabella, 2007). Ce rôle expliquerait l'implication de l'inhibition dans divers troubles de l'attention et dans le développement du système exécutif de l'enfant (Roy, 2008). L'inhibition interviendrait également dans la régulation de la cognition, la motricité et les fonctions cognitives les plus intégrées comme le raisonnement (Moutier *et al* 2003 ; Dempster et Brainerd, 1995) et plus généralement dans les processus d'apprentissage et la maturation des fonctions intellectuelles (Mazeau, 2005). L'inhibition est la principale composante des fonctions exécutives puisqu'elle précéderait et permettrait le développement des autres composantes exécutives (Barkley, 1997 ; Carlson et Moses, 2001 ; Alteimer *et al.*, 2008).

Au niveau scolaire, Houdé et Borst (2018) soulignent le rôle de l'inhibition des heuristiques associées à des stratégies automatisées, très rapides, peu coûteuses sur le plan cognitif mais qui ne fonctionnent pas dans toutes les situations. L'inhibition de ces stratégies s'avère primordiale afin d'activer les « algorithmes exacts » qui sont des stratégies lentes, très coûteuses sur le plan cognitif mais plus efficaces.

Différentes sous-composantes de l'inhibition peuvent être distinguées. Tout d'abord, selon le rôle des mécanismes mises à l'œuvre, on distingue les processus de « *contrôle des interférences* » lorsqu'il s'agit de lutter contre les distracteurs qui écartent l'attention des informations pertinentes pour la tâche en cours. En fait, face aux nombreux comportements automatisés, il est essentiel de disposer d'un processus de contrôle prêt à régir dans des situations nouvelles, pour bloquer nos automatismes non adaptés et permettre l'élaboration de nouveaux plans d'actions plus adaptés à la situation (Boujon, 2002). S'engager consciemment dans un problème, réfléchir à sa résolution, créer une stratégie pour atteindre un but sont des tâches cognitives qui exigent non seulement d'inhiber des réponses automatiques mais également de supprimer des informations non pertinentes. La résistance à l'interférence réclame une certaine souplesse attentionnelle, en raison d'une compétition entre les stimuli ou les réponses. Les interférences peuvent varier selon l'emplacement de la source (externe ou interne), la direction (proactive, rétroactive ou simultanée) et la forme psychologique (motrice, perceptive ou verbale) (Dempster, 1992, 1995). Par ailleurs, l'*inhibition motrice* est distinguée de l'*inhibition cognitive*. L'inhibition motrice contrôle des comportements moteurs, tandis que l'inhibition cognitive exerce le contrôle sur des traitements cognitifs (automatiques ou compétitifs) tels que : le contrôle d'une réponse, d'une règle ou d'un comportement automatisé et dont le sujet doit se désengager afin de pouvoir activer une nouvelle réponse adaptée à la situation (Espy et Bull, 2005). L'inhibition cognitive intervient dans la mise à jour de la mémoire de travail. A leurs tours, Friedman et Miyake (2004) décrivent trois processus d'inhibition successifs. La *résistance aux interférences de distraction* permettant de filtrer l'information avant même qu'elle ne soit traitée. La *résistance aux interférences proactives* qui consiste à supprimer les informations antérieurement pertinentes pour la tâche et qui ne le sont plus. Cette fonction est notamment responsable de la mise à jour des informations contenues dans la mémoire de travail. Enfin, le troisième est l'*inhibition de la réponse dominante* qui permet de freiner intentionnellement une réponse dominante, automatique ou supérieure, qui n'est pas pertinente. Selon Friedman et Miyake (2004), l'inhibition de la réponse dominante et la résistance aux interférences de distraction sont fortement reliées entre elles.

De nombreuses épreuves standardisées ont été mise au point pour évaluer les capacités inhibitrices des enfants et des adultes. L'une des plus utilisées est la tâche de Stroop (1935), durant laquelle les participants doivent nommer la couleur de l'encre de certains mots désignant des noms de couleurs. Ainsi, cette épreuve demande aux participants d'inhiber une activité automatisée (la lecture de mots) en faveur d'une tâche qui l'est beaucoup moins (la

dénomination de la couleur de l'encre) (Scarpina et Tagini, 2017). Puisque que les mots écrits représentent des noms de couleurs, et que la réponse attendue est elle aussi une couleur, les participants doivent résister contre l'effet d'interférence (effet Stroop) ce qui se manifeste généralement par des temps de réponse et un nombre important d'erreurs. Une autre tâche couramment adoptée chez les jeunes enfants est la tâche du délai de gratification, connu par le test du « marshmallow ». Il s'agit de mettre devant l'enfant une friandise appétissante, et de lui expliquer que s'il attend le retour de l'adulte, il peut prendre davantage de friandises. Par contre, s'il mange la friandise avant le retour de l'adulte, il n'en aura pas d'autre. Ainsi, l'enfant doit faire preuve de capacité d'inhibition afin de décaler la réponse dominante (manger la friandise immédiatement), dans le but de recevoir une récompense future plus gratifiante. De bonnes performances à cette épreuve auprès des enfants de 4 ans permettent de prédire de meilleures compétences sur le plan cognitif et social à l'adolescence, avec de meilleures performances scolaires et une meilleure régulation émotionnelle du stress et de la frustration (Mischel *et al.*, 1989). Enfin, deux autres types d'évaluation des capacités inhibitrices sont les tâches de type go/no-go et de stop-signal reposant sur le même principe : inhibition d'une réponse en faveur d'une absence de réponse (Diamond, 2013). Dans les tâches go/no-go, les participants confrontent deux types de stimuli : les items go et les items no-go. Dans la plupart de ces épreuves, les participants doivent appuyer sur un bouton quand le stimulus go apparaît, et ne pas appuyer quand le stimulus no-go apparaît. L'inhibition est alors sollicitée afin de bloquer l'action motrice d'appuyer sur le bouton. Au cours de l'épreuve de stop-signal, le stimulus go est présenté aux participants lors de chaque essai. Cependant, pour une minorité des items, un signal d'arrêt (un indice sonore), apparaît juste après le stimulus go, au moment où le sujet est sur le point de répondre, annonçant alors au sujet qu'il ne doit pas appuyer sur le bouton. Les sujets doivent ainsi inhiber la réponse motrice qu'ils avaient déjà amorcée.

2.3.2. La mémoire de travail

La mémoire de travail représente « l'atelier du cerveau » (Houdé et Borst, 2018, p 188). Il s'agit de maintenir activement des informations (capacité à stocker), de les manipuler et de les traiter afin d'atteindre un but bien défini (Diamond et Ling, 2016). La mémoire de travail est sollicitée quand nous devons organiser des informations ou les relier entre elles pour trouver la solution à un problème.

Rappelons que la manière dont la mémoire de travail est théorisée et décrite varie en fonction des modèles (Baddeley, 2012 ; Barrouillet, Bernardin et Camos, 2004 ; Cowan, 2001 ; Engle *et al.*, 1999 ; Logie, 2011). Toutefois, quelle que soit la façon dont la mémoire de travail est conceptualisée, on relève un large consensus relatif aux mécanismes cognitifs engagés dans la capacité de la mémoire de travail. Plus précisément, la mémoire de travail comprend deux processus cognitifs de base : le processus mnésique qui correspond au rappel de l'information brièvement stockée et le processus cognitif correspondant au traitement, à la manipulation et l'intégration de l'information. La combinaison entre ces deux processus cognitifs permet la distinction entre le concept de mémoire de travail de celui de mémoire à court terme (MCT) qui est envisagé comme un simple système de stockage. Ajoutons également une fonction essentielle assurée par la mise à jour pour l'efficacité de la mémoire de travail. Le processus de mise à jour permet de conserver en mémoire de travail les données pertinentes, jusqu'à ce que celles-ci ne soient plus adaptées à la tâche, puis de les renouveler par des informations plus récentes et plus utiles. En fait, un nombre limité d'éléments peut être stocké et manipulé pour une courte durée, d'où l'importance de vider et de remplir la mémoire de travail (Moret et Mazeau, 2019). Il s'agit du processus par lequel les précédentes informations en mémoire de travail sont renouvelées par des informations plus pertinentes (Karch et Unger, 2014). A titre d'illustration, le fait de réciter l'alphabet à l'envers est une activité sollicitant fortement le processus de mise à jour, puisque cela exige continuellement de remplacer les éléments en mémoire de travail, tout en se souvenant de la lettre à laquelle nous sommes parvenus.

Contrairement à la capacité de la mémoire à long terme, chaque individu peut stocker et manipuler un nombre limité d'items en mémoire de travail correspondant à l'empan mnésique de la mémoire de travail. Celui-ci serait seulement de 3 éléments à l'âge de 6-7 ans, et atteindrait 7 ± 2 éléments à l'âge adulte (Moret et Mazeau, 2019). Cette capacité est essentielle pour le fonctionnement intellectuel (Chuderski, 2013 ; Cornoldi et Giofrè, 2014), dans la réussite scolaire et pour les capacités d'apprentissage (Alloway et Alloway, 2010 ; Gathercole, Brown et Pickering, 2003). La mémoire de travail est également impliquée dans le développement de nombreux processus cognitifs comme le langage oral et écrit (Diamond, 2016 ; Linck, Osthus, Koeth et Bunting, 2014), la résolution de problèmes mathématiques (Swanson, 2011) et les opérations arithmétiques complexes (calcul mental et résolution de problèmes).

Deux types de mémoire de travail sont distingués en fonction de la nature des informations à maintenir et à manipuler mentalement : la mémoire de travail verbale et la mémoire de travail visuo-spatiale (Diamond, 2013). La mémoire de travail verbal a été la plus étudiée (Moret et Mazeau, 2019) en raison de son implication dans les apprentissages scolaires. L'une des tâches permettant de mesurer les capacités de mémoire de travail verbal est le test d'empan envers dans lequel l'enfant est demandé de restituer une série de chiffres ou de noms dans l'ordre inverse. Les capacités de mémoire de travail visuo-spatiale peuvent être évaluées par l'épreuve des blocs de Corsi. Au cours de cette tâche, les participants observent un expérimentateur pointant différents cubes, puis ils doivent reproduire la même séquence de mouvements, dans le même ordre ou en ordre inverse (Fournier et Albaret, 2015). Après augmentation progressive du nombre de blocs à mémoriser, il est possible de calculer l'empan visuo-spatial, défini par le nombre maximum de blocs que le participant rappelle sans erreur.

2.3.3. La flexibilité

La flexibilité cognitive renvoie « à la capacité de l'individu à s'adapter aux changements dans son environnement, qu'il s'agisse de changer de stratégie, d'adopter une perspective différente sur un problème ou plus généralement de chercher d'autres manières de raisonner et de penser » (Houdé et Borst, 2018, p : 190). Elle renvoie également à la capacité de contrôle de l'attention sur ce qui est pertinent et à la déplacer si nécessaire. Ainsi, l'enfant désengage son attention vis-à-vis une tâche, pour s'engager dans une nouvelle situation, en fonction des exigences de cette dernière.

Pour Clément (2006), une personne s'adapte d'autant plus aux changements que ses capacités de flexibilité sont performantes. L'auteure distingue entre deux types de flexibilité : *la flexibilité réactive*, permettant un changement de comportement en fonction des contraintes extérieures rencontrées. Dans ce sens, la flexibilité cognitive est une compétence permettant aux individus de s'adapter en permanence avec diverses situations de leurs vécus quotidiennes. Par ailleurs, *la flexibilité spontanée*, permettant de produire des réponses variées dans un contexte qui n'exige pas de modifications (Clément, 2007).

La flexibilité est mobilisée au cours des activités de la vie quotidienne et scolaire, et d'une manière générale dans les tâches où notre cerveau doit s'adapter à un changement de règles, de stratégies, ou d'activités. Par exemple, dans le domaine mathématique, pour développer les habiletés de calcul mental, il faut alterner rapidement entre les opérations additives (additions, soustractions) et multiplicatives (multiplications, division).

Par ailleurs, la flexibilité est inévitablement indissociable de l'inhibition (Moret et Mazeau, 2013) et de la mémoire de travail. En fait, la flexibilité requiert d'inhiber des informations actuellement non utiles (comme la tâche précédente), et d'activer en mémoire de travail les informations actuellement pertinentes, c'est-à-dire les informations utiles à la nouvelle tâche (Karch et Unger, 2014 ; Diamond, 2013). Le développement de la flexibilité cognitive est lié essentiellement à la maturation des réseaux cérébraux impliqués respectivement dans le contrôle inhibiteur et la mémoire de travail. Bien que le rôle de l'inhibition et de la mémoire de travail dans la flexibilité, et les processus qui l'aident à se distinguer des autres fonctions, ont besoin de clarification, de nombreuses études soutiennent que, chez l'enfant comme chez l'adulte, la flexibilité cognitive est particulièrement complexe et dépend d'un ensemble de mécanismes cognitifs (Cragg et Chevalier, 2012).

Plusieurs épreuves permettent d'évaluer la flexibilité, et parmi elles le célèbre test de classement de cartes de Wisconsin (« Wisconsin Card Sorting Test », de Grant et Berg, 1948). Dans cette tâche, l'enfant doit trier des cartes en fonction de trois critères différents. Le critère d'appariement n'est pas donné explicitement. Ainsi, le participant doit préciser le critère sur la base du feedback de l'expérimentateur. Le critère va changer durant la passation, sans que le participant n'en soit informé. Le participant doit alors être capable de modifier de critère de façon flexible durant ces moments-là. Ainsi, il doit inhiber la précédente règle pour se centrer sur la nouvelle, pour ne pas commettre d'erreurs de persévération. Une autre tâche souvent employée pour évaluer la flexibilité est la tâche du « Trail-making test » (Partington et Leiter, 1949). Il s'agit de relier, par ordre croissant, des chiffres et des lettres distribués de manière aléatoire sur une feuille. L'enfant doit relier les différents stimuli, en alternant entre les chiffres et les lettres (e.g. 1-A-2-B-3-C...) en faisant le moins d'erreurs possibles et en allant le plus rapidement possible. Enfin, d'autres épreuves comme les tâches de fluence verbale permettent également d'évaluer la flexibilité. Dans celles-ci, le participant doit chercher le plus de mots appartenant à une catégorie sémantique (fluence sémantique), ou débutant par une lettre donnée (fluence phonémique), en un temps limité (Godefroy et Grefex, 2008). Dans les tâches de

fluence sémantique, il est possible de demander aux individus d'alterner entre deux catégories, par exemple en donnant un nom de métier puis un nom de vêtement, et ainsi de suite (Godefroy et Grefex, 2008). Sur le plan non-verbal, il existe des tests de fluence graphique, dans lesquels le participant doit produire un maximum de dessins différents en un temps donné (Moret et Mazeau, 2019). Ainsi, toutes ces épreuves de fluence permettent d'évaluer la capacité de flexibilité et de faire preuve de créativité chez l'individu.

2.4. Le développement des fonctions exécutives

Le développement des fonctions exécutives est souvent ramené à celui du cerveau. Dans ce cadre, le cortex préfrontal (CPF) et ses réseaux représentent le siège anatomo-fonctionnel principal des fonctions exécutives. Sur le plan anatomique, il couvre la partie externe la plus rostrale du cerveau. Il est subdivisé en cortex latéral, orbito-frontal et médio-frontal (circonvolution frontale interne à laquelle est associé souvent le cortex cingulaire antérieur) (Lechevalier *et al.*, 2008).

Des études récentes effectuées sur des banques de données d'images obtenues par tractographie sur des personnes engagées dans des activités impliquant des capacités spécifiques (e.g., tâches de mémoire) ont mis en évidence une douzaine d'aires cérébrales au sein du CPF. Ces dernières sont spécifiques tant sur le plan structurel que fonctionnel (voir figure 6) (Thiebaut de Schotten *et al.*, 2017). Ces mêmes travaux ont montré également la disposition selon l'axe rostro-caudale des fonctions d'association de haut niveau aux fonctions les plus simples (cf. figure 6). En effet, l'épaisseur corticale se distribue sur l'axe rostro-caudale du plus épais au plus fin. Ces résultats corroborent avec des résultats rapportés par ailleurs avec d'autres facteurs tels que la myélinisation ou la complexité synaptique et dendritique intrinsèque à une zone corticale (Zilles et Amunts, 2015 cités dans Thiebaut de Schotten *et al.*, 2017).

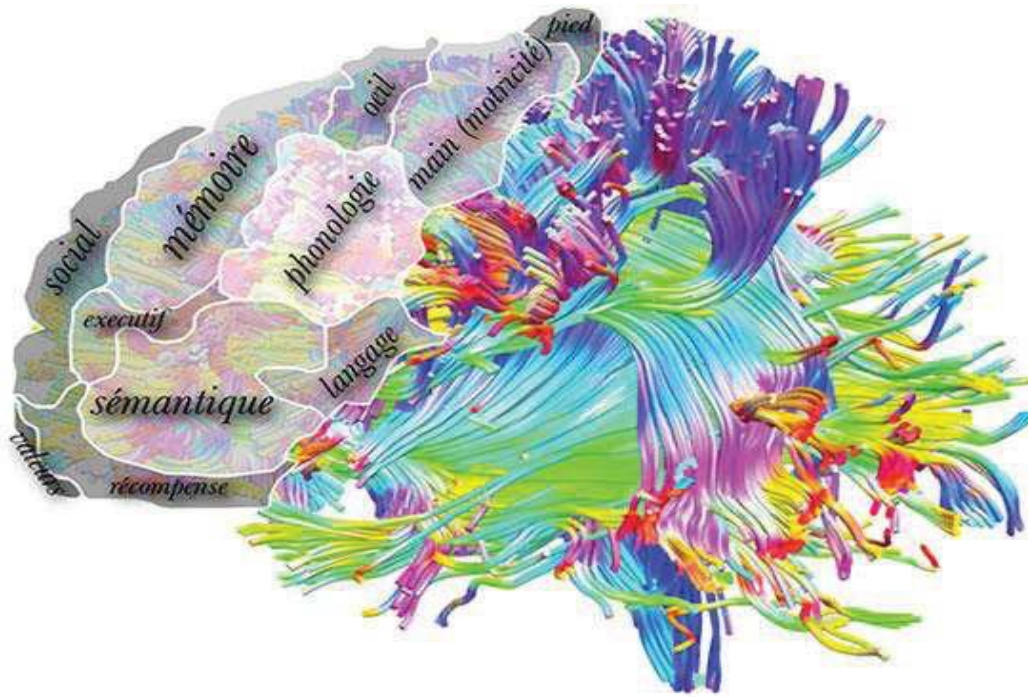


Figure 6: Aires fonctionnelles cérébrales du lobe frontal (Thiebaut de Schotten et al., 2017)

Sur le plan fonctionnel, le CPF reçoit des informations du milieu extérieur grâce à ses connexions avec les aires sensorielles associatives temporales, pariétales et occipitales. Ensuite, grâce à ses relations avec le système limbique, il dispose d'informations sur le milieu intérieur, l'état affectif et motivationnel, ce qui fait de lui une interface entre cognition et sentiments (Roy, 2007). En outre, ses réseaux avec le thalamus, l'amygdale et l'hippocampe jouent un rôle essentiel dans la mémorisation et l'actualisation d'expériences anciennes. Enfin, le CPF participe au contrôle moteur par son action sur la région pré-motrice et le striatum. Par ce dispositif, le CPF a une fonction d'intégration entre les données environnementales, l'état de l'organisme et les expériences passées, ce qui permet l'actualisation d'un plan d'action adapté vers un but (Dubois et al., 1994).

Le statut développemental particulier du lobe frontal et de ses connexions constitue le siège biologique principal des fonctions exécutives et nourrit de façon fondamentale les enjeux scientifiques à l'étude de ces mécanismes chez l'enfant. Du fait de la maturation caudo-rostrale du cerveau, la maturation et le développement physiologique du CPF sont les plus longues et les plus tardives par rapport aux autres régions corticales (Dennis, 2006). Ceci explique d'ailleurs le développement long et l'efficacité croissante des fonctions exécutives jusqu'à l'âge adulte (Roy et al., 2012) (cf. figure 7).

Les nouvelles théories en psychologie du développement s'accordent sur l'émergence précoce et progressif des diverses composantes des fonctions exécutives à différents niveaux de l'échelle d'âge : elles ne suivent pas le même calendrier d'émergence, ni le même rythme d'évolution notamment durant les années préscolaires et scolaires (Diamond, 2013 ; Hodel, 2018 ; cité par Guerra *et al.*, 2019). Les fonctions exécutives sont activement mobilisées dès les premières années de la vie et se complexifient en fonction de plusieurs facteurs tels que la maturation du lobe frontal et des stimulations (expériences) proposées à l'enfant (Duval, Bouchard et Pagé, 2017 ; Hammarrenger, 2017).

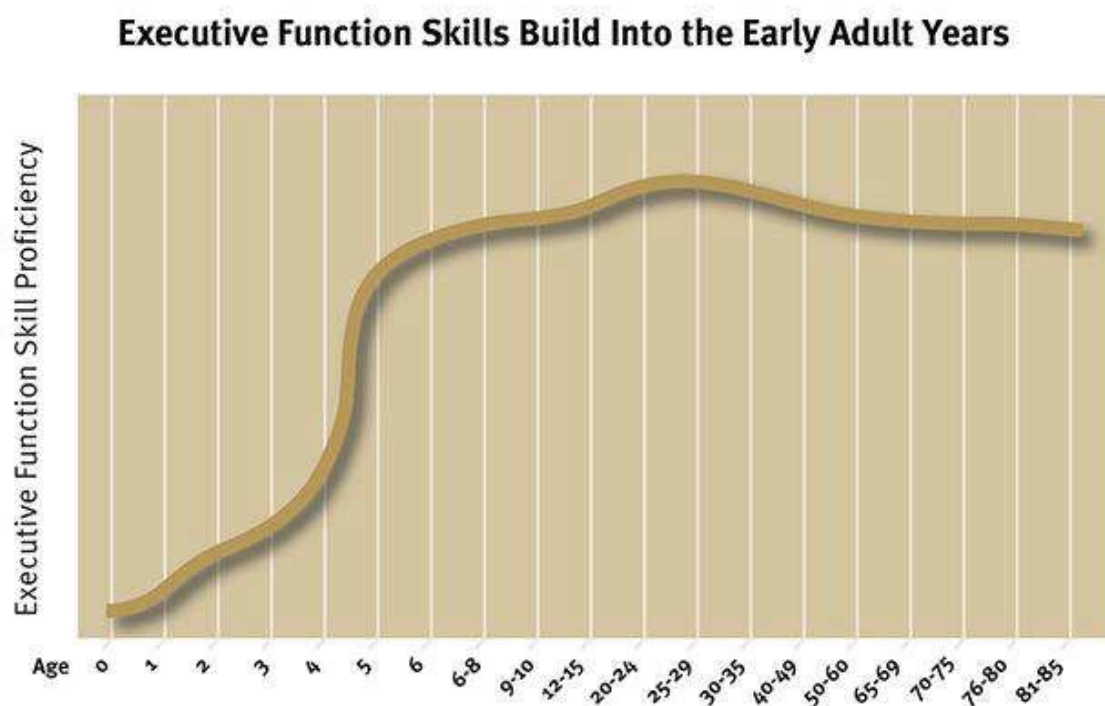


Figure 7 : Trajectoire de développement typique des fonctions exécutives sur la vie entière (Center on the developing Child, 2012)

2.4.1. La petite enfance

Dès la naissance, il est possible d'observer deux formes élémentaires de compétences exécutives, l'une consistant à réguler le comportement en réponse à des imprévus environnementaux et la seconde étant la capacité à fixer des objectifs ou à adapter des comportements volontaires (Diamond, 2004).

Par ailleurs, selon Altemier et ses collaborateurs (2008), l'inhibition serait la première fonctions exécutives à apparaître dans le développement de l'enfant (dès la première année de vie) et serait un pilier fondamental dans le développement cognitif à partir duquel les autres fonctions exécutives se développeraient. Selon de nombreux auteurs, les premiers signes révélant la mise en œuvre de la mémoire de travail et de l'inhibition apparaissent entre 6 et 12 mois au cours de la tâche du paradigme A-non-B (Piaget, 1937 ; Roy *et al.*, 2012).

Pour Holomboe et ses collègues (2008), les bébés peuvent inhiber les distracteurs présents dans le champ visuel périphérique à partir du 9^{ème} mois. A cet âge, ils peuvent également inhiber des réponses inappropriées afin d'effectuer une tâche (Amso et Johnson, 2005). Entre 1 et 3 ans, l'efficacité de l'inhibition progresse avec la capacité croissante à différer la prise d'une récompense afin d'en recevoir une plus importante (Carlson, 2005). L'amélioration de l'inhibition a également été démontrée entre 2 et 3 ans grâce à une tâche de conflit type Stroop (Gerardi-Caulton, 2000). Par la suite, la fonction d'inhibition progresse linéairement avec l'âge et la maturation cérébrale pour devenir plus sélective, plus précise et plus adaptée (Altemier, 2008). Toutefois, il convient de noter que si la capacité à résoudre des conflits non émotionnels augmente avec l'âge, la capacité à résoudre les conflits émotionnels est affectée vers l'adolescence. Cela est lié en partie à la maturation cérébrale plus précoce des aires émotionnelles sous-corticales que des aires préfrontales qui assurent la régulation des émotions (Casey, 2015). Ce décalage expliquerait la réactivité émotionnelle observée chez les adolescents et, de manière plus générale, l'engagement dans des conduites à risques en contexte social (Steinberg, 2008).

En ce qui concerne la mémoire de travail, ce serait également à partir du 9^{ème} que les bébés seraient capables de maintenir des informations et de rafraîchir le contenu de la mémoire de travail (Diamond et Lee, 2011). Le développement de la mémoire de travail se poursuivrait pendant l'adolescence jusqu'à l'âge adulte (Luna, Padmanabhan et O'Hearn, 2010). Soulignons que le développement de la mémoire de travail est fortement lié au développement des capacités d'inhibition qui permettent de contrôler les interférences lors du maintien transitoire des informations en mémoire.

2.4.2. La période préscolaire

La période préscolaire s'avère particulièrement sensible pour le développement des fonctions exécutives. En fait, les analyses factorielles montrent une structure des fonctions exécutives avec une seule variable latente à partir de l'âge de 3 ans, l'inhibition et la mémoire de travail étant relativement indifférenciées jusqu'à l'âge de 6 ans environ (Wiebe *et al.*, 2011 ; Lee *et al.*, 2013 ; Willoughby *et al.*, 2012 cités par Guerra *et al.*, 2019).

Pendant cette période, les études ont essentiellement ciblé la composante d'inhibition comportementale grâce à la tâche de récompense différée développée par Mischel et Moore (1973). Dans cette épreuve, l'examineur présente aux enfants un bonbon qui se retrouvent face à un choix : manger directement le bonbon ou bien attendre quelques minutes afin d'en avoir deux. Les résultats montrent que les enfants de moins de 3 ans éprouvent de difficultés à contrôler leur prise immédiate tandis que les enfants de 6 ans y parviennent. Dans une autre tâche mobilisant toujours la fonction d'inhibition motrice (Go/no-Go), les résultats mettent en évidence une amélioration rapide chez les enfants entre 3 et 5 ans (Simpson et Riggs, 2005 ; Garon, Bryson et Smith 2008).

Quant à la flexibilité cognitive, son évolution s'effectue par paliers : un premier pic se situe entre 4 et 5 ans et un second entre 7 et 8 ans (Roy, 2007). L'épreuve *Dimensional Change Card Sorting task* (*Tri de Cartes à Changement de Dimension de Zelazo*, 2006) mobilise principalement la flexibilité cognitive mais également l'inhibition et la mémoire de travail (Garon *et al.*, 2008). Dans cette épreuve, les enfants doivent trier une série de cartes en fonction d'une dimension initiale (comme la couleur) sur plusieurs essais, puis ensuite changer de dimension (comme la forme par exemple). A partir de 3 ans, les enfants utilisent une dimension mais ne savent pas en changer jusqu'à l'âge de 4 ans et demi. En fait, la flexibilité d'un essai à l'autre n'apparaît qu'à partir de 7 à 9 ans (Houdé et Borst, 2018).

Selon la théorie de la complexité et du contrôle cognitif (Zelazo et Frye, 1998, cité par Roy *et al.*, 2012) : « le développement de la flexibilité cognitive est caractérisé par la capacité progressive des enfants à assimiler une série de règles dans une structure hiérarchique plus complexe. Cette complexité cognitive croissante se traduit par l'acquisition, entre 2 et 5 ans, d'une capacité d'enchâssement (*embedding*) des règles à utiliser lors d'une situation de résolution de problème. Cette capacité est appréhendée à travers l'aptitude à identifier, choisir puis modifier, de façon flexible, des règles de classement dans des situations de jeux de cartes

dont les stimuli varient selon la couleur et la forme » (p. 15). Les difficultés rencontrées par les enfants de 3 ans ont souvent été expliquées par un phénomène de persévération lié à l'incapacité à se désengager de représentations initiales et à la répétition des réponses initialement correctes. Les facteurs à l'origine de cette persévération sont l'objet de vifs débats (Chevalier et Blaye, 2006). Pour Müller *et al* (2006), « les erreurs de persévérations semblent en partie liées au fait que, ayant dû ignorer la dimension non pertinente lors de la première phase de l'épreuve, les enfants ont ensuite du mal à activer cette dimension lorsqu'elle devient pertinente ». Par ailleurs, les échecs aux épreuves de flexibilité ne sont pas toujours expliqués par des erreurs préservatives. En fait, quand la tâche propose plus de deux réponses, on remarque que les erreurs non persévératives (fondées sur des épreuves ou des traitements différents de ceux qui étaient initialement pertinents) sont aussi nombreuses, voire plus nombreuses, que les erreurs persévératives (Chevalier et Blaye, 2008). Le rôle de la persévération serait surestimé lorsque les épreuves n'offrent pas la possibilité d'observer des erreurs non persévératives.

2.4.3. La période scolaire

L'âge scolaire est une période de développement des fonctions exécutives qui connaît des périodes d'accélération développementales. Cependant, elle a été moins investie en comparaison avec la période de la petite enfance ou la période de l'âge adulte.

Les travaux effectués auprès de population d'âge scolaire rapportent à la fois une structure unifactorielle (Fuhs et Day, 2011 ; Shing *et al.*, 2010) et un modèle à deux facteurs évoquant une différenciation préliminaire des processus exécutifs (Lee *et al.*, 2013). L'inhibition et la mémoire de travail se différencient en premier vers 6-7 ans et constituent les prémisses du développement de la flexibilité et des fonctions exécutives de plus haut-niveau (Espy et Bull, 2005). Cette évolution différenciée serait consolidée à la fin de l'adolescence (Lee *et al.*, 2013) et liée à la stimulation du CPF qui devient de plus en plus focale jusqu'au début de l'adolescence (Konrad *et al.*, 2005).

Concernant la fonction d'inhibition, les progrès semblent être moins importants après la période préscolaire, mais ils se poursuivent, notamment pendant l'adolescence, à un rythme relativement régulier (Crone, 2009). Selon Alteimer et ses collègues (2008), l'inhibition pourrait avoir un développement plus long que les autres fonctions. En effet, Huizinga et ses

collaborateurs (2006) ont conduit trois études transversales sur le rythme d'évolution de l'inhibition en utilisant trois épreuves d'inhibition : le « stop signal » pour le versant moteur, le « Eriksen Flanker task » pour l'inhibition d'interférence et le « Stroop » auprès des sujets âgés de 7 à 21 ans. Les résultats aux trois épreuves montrent des trajectoires développementales différentes avec une évolution rapide jusqu'à l'âge de 11 ans pour l'épreuve « Stop signal » et « Flanker ». Cependant, les évolutions sont modestes à l'épreuve de « Stroop » jusqu'à la fin de l'adolescence. Selon la variable dépendante prise en compte, les progressions développementales ne sont pas identiques. En fait, le nombre des erreurs diminue significativement entre 7 et 11 ans alors que les temps de réactions ne révèlent pas de changements aussi importants. Des résultats similaires ont été rapportés par Davidson et ses collègues (2006) auprès des enfants de 6 à 13 ans. Le taux d'erreurs aux tests d'inhibition motrice (arrows, dots) diminue rapidement avec l'âge alors que des progressions plus modestes sont relevées pour les temps de réaction. Selon Diamond (2013), l'efficacité des mécanismes de contrôle est progressive ; elle débute sur le versant moteur (suppression de la réponse motrice prépotente), puis évolue ensuite sur le versant cognitif (résistance aux interférences).

Quant à la flexibilité cognitive, les enfants de 4-5 ans ont peu de difficultés à changer de règles et réussissent facilement à effectuer les alternances (Zelazo *et al.*, 2003). L'ensemble des épreuves proposées après 4 ans, telle que le Wisconsin Card Sorting (WCST), exige la réalisation de plusieurs bascules successives. Ces épreuves révèlent une amélioration de la flexibilité cognitive avec l'âge qui se poursuit jusqu'à la fin de l'adolescence (Davidson *et al.*, 2006). Toutefois, à partir du milieu des classes élémentaires et jusqu'en classe de 6^{ème} de collège, les habiletés de flexibilité ont parfois tendance à être moins performantes (Alteimer, 2008). Cette régression a été remarquée dans les tâches de dénomination rapide alternée entre différents stimuli sollicitant ainsi le mécanisme de flexibilité cognitive (Alteimer, 2008, cité par Bargue, 2013).

En ce qui concerne les capacités d'organisation et de planification, elles se développent rapidement entre 7 et 10 ans (Anderson et Garth, 2001) et continuent à progresser graduellement jusqu'à l'adolescence (Krikorian *et al.*, 1994).

2.5. Les facteurs de développement des fonctions exécutives

De nombreuses recherches ont étudié les facteurs pouvant influencer le développement des fonctions exécutives (Obradovic *et al*, 2012). Certains facteurs sont liés à l'enfant (facteurs internes) et d'autres sont en lien avec la famille, le milieu environnant et le contexte développemental (facteurs externes).

2.5.1. Les facteurs internes

2.5.1.1. La transmission génétique et biologique

Pour certains auteurs, l'origine des différences individuelles dans le développement des fonctions exécutives sont d'abord d'ordre génétique et biologique (Friedman, Miyake, Young, DeFries, Corley et Hewitt, 2008). Les données recueillies à l'aide d'un échantillon renfermant de jumeaux monozygotes (MZ) et dizygotes (DZ), ont révélé une variation interindividuelle expliquée par des facteurs génétiques variant de 29 à 56 % dans les tâches liées à l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité mentale. Ces résultats montrent également des indices de corrélations significativement plus élevés lorsqu'ils sont administrés aux jumeaux MZ, par rapport aux DZ, ce qui implique une influence génétique modérée des gènes sur les fonctions exécutives des enfants (Friedman *et al.*, 2008). Dans le même ordre d'idées, Polderman et ses collègues (2006) ont conduit une étude longitudinale sur le fonctionnement exécutif et le quotient intellectuel auprès de 237 paires de jumeaux (125 paires de jumeaux MZ et 112 paires de jumeaux DZ). Les résultats montrent que « l'héritabilité explique 50 % des variations dans les habiletés liées au fonctionnement exécutif, tant à 5 ans qu'à l'âge de 12 ans » (*ibid*). En outre, les travaux de Moffit et de ses collaborateurs (2011) ont signalé des différences individuelles de performance à des épreuves de FE. Ces différences reflètent des traits stables de la personnalité qui peuvent être liées à des variations génétiques (Friedman *et al.*, 2008).

2.5.1.2. La maturation

Les différences interindividuelles dans les capacités de fonctions exécutives sont également attribuées à la maturation cérébrale. En fait, Zelazo (2013) a réalisé une étude sur deux groupes d'enfants dont les résultats révèlent des habiletés significativement supérieures chez les enfants d'âge préscolaire (3-5 ans) par rapport à des trottineurs âgés entre 1 et 3 ans. Cette différence en lien avec l'âge s'expliquerait par la maturation du cortex préfrontal, lequel

est associé au développement des fonctions exécutives (Diamond *et al.*, 1997 ; Zelazo *et al.*, 2003). Par ailleurs, une autre étude a été menée par Diamond (2010) auprès des enfants de 4 et 14 ans. L'auteure rapporte que l'inhibition et la mémoire de travail sont corrélées et non différenciées chez les enfants de 4 à 9 ans. Cependant, dans le groupe d'enfants de 9 ans 1/2 à 14 ans 1/2, les deux fonctions apparaissent clairement distinctes. Rappelons que le développement est différent pour chaque composante et qu'il y a une diversité dans l'évolution d'une même fonctions exécutives, même s'il reste ardu de connaître à quel âge précisément le fonctionnement exécutif atteint sa maturation complète (Roy, Gillet *et al.*, 2005). Selon Hartman, Bolton *et al.* (2001) par exemple, une stabilisation dans les performances aux tâches exécutives apparaît à l'âge de 19 ans. En outre, Steinberg (2005) suppose une maturation vers l'âge de 25 ans. Enfin, Giedd (2008) pointe une pleine maturation vers 26 ans minimum. Avec le temps, au cours de l'enfance, la spécialisation croissante des circuits neuronaux du cortex préfrontal suggère une spécialisation des fonctions cognitives dépendant du cortex préfrontal (Diamond, 2010).

2.5.1.3.Le genre

L'effet du genre constitue l'un des facteurs biodémographiques les plus analysés dans le développement du fonctionnement exécutif. Les données de la littérature sont pourtant contradictoires et peu concluante. Actuellement, il n'y a pas de consensus. Pour certains, les travaux en neuro-imagerie ont révélé des différences ténues entre les garçons et les filles dans la maturation des régions préfrontales du cerveau. Selon Belfi et ses collègues (2014), tout au long de l'enfance, il y aurait des différences structurelles évolutives importantes entre le cerveau des garçons et des filles. A l'âge préscolaire, les habiletés exécutives seraient supérieures chez les filles à (Wiebe, Epsy et Charak, 2008). De plus, les performances exécutives seraient différentes entre les garçons et les filles selon les versants froids ou chauds évalués (cité par Carlson *et al.*, 2019 p. 392). Ceci serait compatible avec une étude suggérant que la fonction du cortex orbito-frontal se développe plus rapidement chez les garçons (Overman *et al.*, 1996) tandis que le langage s'acquiert plus rapidement chez les filles.

Globalement, les résultats semblent indiquer que le versant "froid" des fonctions exécutives est meilleur chez les filles, alors que le versant chaud est meilleur chez les garçons. Cela étant, la majorité des travaux ne signale pas de différence statistiquement significative du facteur genre (Duval, Bouchard et Pagé, 2016 ; Roy *et al.*, 2018).

Récemment, Gaillard et ses collègues (2021) ont tenté d'identifier dans une méta-analyse l'ampleur des différences comportementales liées au genre. Dans les 46 études recensées, soit un total de 1988 femmes et 1884 hommes, les hommes et les femmes ne présentent pas de différences dans les fonctions d'inhibition, de flexibilité et de planification. Cependant, certaines différences spécifiques ont été relevées dans la tâche de mémoire de travail spatiale CANTAB (hommes > femmes) et dans la tâche de Delay discounting task (femmes > hommes). En fait, les effets du genre semblent varier selon les tâches et plus largement encore selon la culture (Roukoz *et al*, 2018).

2.5.1.4. Le langage

Le langage joue un rôle essentiel dans le développement des fonctions exécutives, notamment grâce à sa fonction autorégulatrice (Chevalier, 2010 ; Vygotsky, 1962). En fait, les études ont constamment démontré que la taille du vocabulaire est liée au développement des fonctions exécutives (Bell *et al.*, 2007 ; Wolfe et Bell, 2004) et qu'il s'agit même d'une variable prédictive. Pour Epsy et ses collaborateurs (2006), les enfants ayant des aptitudes langagières les plus élaborées sont plus performants dans les fonctions exécutives. De plus, de nombreux travaux montrent que l'auto-verbalisation d'informations appropriées a des avantages sur les productions des enfants d'âge préscolaire ou scolaire lorsqu'il s'agit de la résolution de tâches exigeant un contrôle exécutif, et plus particulièrement l'inhibition (Müller *et al.*, 2004), la flexibilité (Kirkham *et al.*, 2003) et la planification (Fernyhough et Fradley, 2005). En plus des effets de l'auto-verbalisation, un nombre important de travaux ont étudié le lien entre les fonctions exécutives et le bilinguisme. Ce lien sera développé dans le prochain chapitre.

2.5.2. Les facteurs externes

L'un des défis actuels des chercheurs est de montrer comment les fonctions exécutives sont influencées par le contexte, la culture et l'environnement dans lequel les enfants mûrissent (Obradović et al, 2012). Ces facteurs conditionnent en partie la structuration et le développement des fonctions exécutives (Er-Rafiki *et al*, 2017). Le statut socio-économique et la qualité des pratiques parentales sont particulièrement influents (Noble, Norman et Farah, 2005 ; Bernier, Carlson, Deschênes et Matte-Gagné, 2012).

2.5.2.1. Le statut socio-économique (SSE)

De nombreux auteurs mettent en avant les influences environnementales sur le développement postnatal prolongé du CPF (Kolb *et al.*, 1998) et sur les fonctions cognitives, sociales et émotionnelles (Hackman *et al.*, 2010). L'évaluation des facteurs environnementaux repose souvent sur les indicateurs du niveau socio-économique tels que : le revenu familial, le niveau de scolarité des parents, la profession des parents ou encore la combinaison de ces indicateurs (Johnson *et al.*, 2016). La plupart des études révèlent qu'un niveau socio-économique plus élevé a une influence positive sur le développement des fonctions exécutives (*ibid.*). Les travaux d'Ardila et de ses collaborateurs (2005) montrent également que le niveau de scolarité parental influence les fonctions exécutives des enfants âgés entre 5 et 13 ans. Les enfants provenant de famille où le parent est plus scolarisé (diplôme d'études universitaires) présentent de meilleures habiletés liées aux fonctions exécutives (inhibition) par rapport aux parents qui sont moins scolarisés (diplôme d'études secondaires). Catale et ses collaborateurs (2012) ont aussi montré que le niveau d'éducation des parents a des effets positifs sur le développement des fonctions exécutives et peut être médiatisé par les ressources verbales. Les travaux d'imagerie réalisés par Lawson *et al.* (2013) ont également relevé que le niveau d'éducation parental prédit l'épaisseur de certaines zones préfrontales. Toutefois, selon Roy (2015) le lien entre le développement des fonctions exécutives et le niveau d'étude doit être relativisé particulièrement en raison de la taille de l'effet qui s'avère souvent faible à modérée.

Par ailleurs, de nombreuses études ont rapporté les effets du revenu familial sur le développement des fonctions exécutives. En fait, les enfants issus de milieux favorisés présentent des capacités d'inhibition et de flexibilité mentale supérieures que les enfants provenant de milieux modestes (Noble *et al.*, 2005). D'autres chercheurs avancent que le niveau de mémoire de travail des enfants âgés entre 3 et 5 ans est supérieur lorsqu'ils évoluent dans une famille ayant plus de ressources (Segretin, Lipina, Hermida, Sheffield et Nelson, 2014). En outre, la qualité des pratiques parentales influence le développement des fonctions exécutives chez l'enfant (Bernier *et al.*, 2012). D'autres recherches ont porté sur la qualité des interactions « parents-enfants » et les aspects liés aux pratiques éducatives (le degré d'autonomie cédé à l'enfant, la régulation du stress) qui peuvent jouer un rôle important dans l'émergence des comportements exécutifs (Bernier, Carlson et Whipple 2010, Blair *et al.*, 2011). Dans le même ordre d'idée, Bernier et ses collègues (2012) évoquent l'importance des « attitudes parentales » dans le développement des fonctions exécutives comme la sensibilité, la chaleur et une

discipline douce liées à un attachement parent-enfant sécurisant et réciproque. Certaines études ont ciblé le versant émotionnel des interactions mère - enfant comme le niveau de réceptivité de la mère et la présence d'affects positifs qui favorisent le développement des fonctions exécutives. En fait, Carlson (2003) a relevé trois dimensions en lien avec les interactions mère/enfant permettant de favoriser le développement des fonctions exécutives : la sensibilité, le soutien à l'autonomie et l'orientation mentale qui fait référence à l'habileté à concevoir et à traiter l'enfant comme un individu disposant d'une vie mentale autonome et active. Ces trois dimensions favoriseraient de façon distincte le développement des fonctions exécutives des jeunes enfants.

D'autres chercheurs évoquent l'importance de l'étayage dans le développement des capacités verbales de l'enfant qui, en retour, renforcerait le développement des fonctions exécutives (Landry, Miller-Loncar, Smith et Swank, 2002). En effet, l'enfant soutenu par sa mère réussit à se représenter les problèmes et leurs solutions possibles, ce qui favoriserait le développement des fonctions exécutives (De surcroît, Hugues et Ensor, 2009).

Au-delà du niveau socio-économique, il a été aussi démontré l'importance de différents facteurs prénataux, de la nutrition, des pratiques éducatives, les traumatismes ou le chaos familial, le stress de l'enfant (Willoughby *et al.*, 2011), le type et la qualité de la stimulation cognitive et les interactions précoces dans le milieu familial et dans la société (Blakemore, Winston et Frith, 2004 ; Welsh, Nix, Blair, Bierman et Nelson, 2010 ; Lawson, Hook *et al.*, 2017). Toutefois, dans le contexte éducatif, peu de recherche ont été effectuées sur les effets de la qualité des interactions enseignant(e)-enfants. La mise en œuvre de programmes scolaires spécifiques comme le « *Tools of the Mind* » (Diamond *et al.*, 2007) font toutefois ressortir l'influence de ces interactions sur le développement des fonctions exécutives (Anderson *et al.*, 2008). On sait également que le climat de la classe affecte les fonctions exécutives des enfants d'âge préscolaire et ceci en agissant sur la qualité des interactions en classe. Dans cette perspective, le projet « *Chicago School Readiness* », a été conçu aux États-Unis afin d'améliorer le climat de classe tout en agissant sur la qualité des interactions (adulte-enfant). Les résultats ont montré que les enfants qui évoluent dans une classe où le climat est de meilleure qualité réussissent davantage dans les habiletés liées aux fonctions exécutives, en comparaison avec les enfants qui évoluent dans une classe où le climat est de plus faible qualité (Raver *et al.*, 2011). Une autre étude de Hatfield, Hestenes, Kintner-Duffy et O'Brien (2013) a montré qu'un(e) enseignant(e) sensible aux besoins des enfants diminue le taux de stress en

classe et pousse les élèves à s'engager activement dans les activités proposées, ce qui favorise par la suite le fonctionnement exécutif.

2.5.2.2. La culture

Les effets du contexte sociodémographique et de la culture au sens large représentent un facteur essentiel susceptible de caractériser le développement des fonctions exécutives chez l'enfant. Selon Roukoz et ses collègues (2018), les études interculturelles réalisées révèlent que le développement exécutif n'est pas le même d'une culture à l'autre. Chaque pays présente ses propres expériences culturelles et éducatives et chaque tâche a des relations spécifiques avec les performances scolaires qui varient également selon la culture (Guerra *et al.*, 2020). Les travaux portant sur les effets de la culture sur les fonctions exécutives dans ce domaine ont été réalisés principalement auprès des populations chinoises et nord-américaines. Une étude menée sur un groupe d'enfants d'âge préscolaire à Pékin rapporte une différence significative par rapport à leurs homologues américains sur une batterie de huit épreuves exécutives (Sabbagh *et al.*, 2006). Les enfants chinois présentent en moyenne un avantage développemental de 6 mois. Par ailleurs, Oh et Lewis (2008) ont réalisé une étude sur deux échantillons en préscolaire (coréens et du Royaume-Uni) afin d'évaluer leurs capacités sur plusieurs tâches des fonctions exécutives. Les résultats montrent de meilleures performances chez les Coréens sur la plupart des épreuves. Ultérieurement, Lan et ses collaborateurs (2011) ont rapporté des aptitudes supérieures au niveau du contrôle inhibiteur et de l'attention sélective chez les enfants pékinois par rapport à leurs homologues américains d'âge préscolaires. Thorell et ses collaborateurs (2013) ont effectué une étude auprès des enfants Suédois, Iraniens, Espagnols et Chinois en utilisant un questionnaire de la vie quotidienne. Les résultats révèlent de grandes difficultés chez les enfants Chinois et des différences significatives sont repérées entre les difficultés exécutives évaluées. Un lien culturel peut expliquer ces résultats du fait que les aptitudes d'autorégulation sont fortement encouragées et plus sévèrement jugées dans la culture chinoise. Un effet transculturel du genre a été également trouvé dans cette étude au détriment des filles iraniennes par rapport aux garçons.

Tous ces travaux ont contribué à la compréhension des répercussions des facteurs sociodémographiques et culturels sur le développement des fonctions exécutives. Toutefois, Il reste encore beaucoup de recherche à réaliser dans ce domaine, notamment pour étudier l'impact de la culture sur le développement des fonctions exécutives en lien avec le développement cérébral.

2.5.2.3. Le sommeil

Le développement de certaines régions du cerveau comme l'hippocampe et les lobes frontaux est influencé par le sommeil. Ces régions sont indispensables pour les apprentissages et le développement des fonctions exécutives. Pour Diekelmann et ses collègues (2010), l'intégrité des cycles du sommeil constitue un facteur critique dans l'apprentissage vu qu'ils permettent la consolidation des connaissances en mémoire. De plus, le sommeil à ondes lentes est basique pour le mécanisme de consolidation notamment pendant l'enfance. Le sommeil des enfants provenant de milieu défavorisé serait souvent altéré du fait des contraintes de l'environnement familial (travail de nuit ou surpopulation dans le foyer) ce qui pourrait engendrer des difficultés d'apprentissage. Pour Bernier *et al.* (2012), les nourrissons de 12 à 18 mois qui bénéficient d'une plus grande proportion de sommeil nocturne sont plus performants dans le contrôle des impulsions vers 2 ans, et encore vers 4 ans. Le sommeil infantile est également un prédicteur des fonctions exécutives à l'adolescence avec une trajectoire, rapportée par les parents, de problèmes de sommeil entre 4 et 16 ans, qui prévoit le fonctionnement exécutif en fin de l'adolescence (Friedman, Corley, Hewin et Wright, 2009). En fait, la diminution des problèmes de sommeil au cours de l'enfance prédit une meilleure performance aux tâches d'inhibition et de mise à jour à l'âge de 17 ans. Ces données longitudinales recueillies sont cohérentes avec un nombre croissant d'études qui révèlent l'association concurrente entre fonctions exécutives et différences individuelles de sommeil auprès des nourrissons et des enfants sains (Gomez, Bootzin et Nadel, 2006). En outre, l'examen du fonctionnement neurocognitif des personnes présentant des troubles respiratoires du sommeil, comme un dysfonctionnement respiratoire nocturne englobant l'apnée obstructive du sommeil, constitue un argument supplémentaire concernant les liens entre sommeil et fonctions exécutives (voir Beebe, 2006, pour une revue).

2.5.2.4. Le développement moteur

Les études récentes révèlent l'implication du développement psychomoteur précoce de l'enfant dans le développement des fonctions exécutives (Murray *et al.*, 2006). Ces auteurs ont suivi un groupe d'enfants depuis le moment où leur mère était enceinte. Les résultats indiquent un lien prédictif entre l'âge de redressement et la performance exécutive à l'âge de 33 à 35 ans, et cela en contrôlant le genre, le SSE et le niveau d'éducation maternelle. Posner et ses collaborateurs (2011) relient la relation entre la capacité motrice et la cognition, y compris la fonction exécutive « à la circuiterie cérébrale commune » (cité par Carlson *et al.*, 2019, p.398).

Une autre étude conduite auprès d'enfants hollandais d'âge préscolaire révèle un lien entre les fonctions exécutives et les mesures motrices mais pas avec le niveau cognitif lorsque l'on contrôle le niveau attentionnel (Wassenberg *et al.*, 2005). De plus, une étude réalisée auprès d'un échantillon australien de même âge retrouve les liens entre la motricité fine et la maîtrise du ballon sur le plan moteur, et entre le contrôle des conflits (à l'épreuve Stroop Jour/Nuit) et le comportement d'externalisation coté sur l'échelle de mesure du comportement de Rowe (Livesey *et al.*, 2006).

2.5.2.5. Le stress

Les recherches actuelles accordent un grand intérêt sur les effets du stress sur le développement des fonctions exécutives, et d'une manière générale sur les interconnexions entre les fonctions exécutives et la régulation des émotions (Blankson, O'Brien, Leerkes, Marcovitch, Calkins et Weaver, 2013). On sait que les circuits cérébraux liés aux fonctions exécutives sont localisés dans le cortex préfrontal, lui-même associé aux structures qui répondent au stress et à la gestion des émotions. Quand l'enfant transpose verbalement une émotion (ou de manière non-verbale à l'aide d'un dessin), il modifie sa représentation et la compréhension de ses sentiments. Diamond (2009) précise que le soutien émotionnel de l'enfant l'amène à reconnaître et à exprimer ses émotions, ce qui améliore le développement du cerveau et les habiletés liées aux fonctions exécutives. Pour Matthews et ses collègues (2012), les enfants provenant d'un milieu socio-économique défavorisé sont plus exposés à un stress chronique, ce qui peut provoquer des altérations de la structure du lobe frontale et de l'hippocampe et affecter le fonctionnement exécutif (Blair *et al.*, 2016). En effet, ces régions renferment de nombreux récepteurs au cortisol (l'hormone du stress). Ainsi les enfants provenant de milieux défavorisés peuvent développer une sensibilité excessive pour certaines menaces sociales et altérer leurs capacités de régulation émotionnelle nécessaire aux apprentissages. On sait que les performances d'inhibition sont significativement corrélées à la régulation des émotions (Masten, Herbers, Desjardins, Cutuli, McCormick *et al.*, 2012). On sait aussi qu'il existe un lien significativement positif entre l'inhibition et la qualité du soutien émotionnel en maternelle (Duval, Bouchard et Pagé, 2016). En fait, le développement émotionnel de l'enfant conduit à une meilleure compréhension de ses émotions et celles d'autrui et ceci améliore les capacités d'inhibition. Quand l'enfant est bien soutenu par l'adulte, il peut ainsi apprendre à se maîtriser en fonction de ses besoins et ceux des autres, ce qui améliore le fonctionnement exécutif. Soulignons également, que les enfants d'âge préscolaire affichent

constamment une plus forte sécrétion d'hormone du stress (cortisol) en classe que dans leur milieu familial (Dettling, Gunnar et Donzella, 1999), ce qui affecte le développement des fonctions exécutives et se répercute sur les capacités cognitives (Duckworth, Kim *et al.*, 2013 ; Hostinar, Stellern, Schaefer, Carlson et Gunnar, 2012).

2.5.2.6. La musique

Certaines recherches mettent en évidence des avantages de la musique sur le plan affectif, physique, culturel et intellectuel. Plusieurs travaux ont également démontré le rôle de la pratique musicale sur différentes tâches exécutives. Bugos et Darlenne (2017) ont réalisé une étude sur l'efficacité d'un programme d'activités musicales sur les capacités d'inhibition des enfants de 4 à 6 ans. Dix-sept enfants ont participé à un programme d'activités musicales et dix-sept autres enfants ont participé à un programme d'activités de construction sur une période de 6 semaines à raison de deux séances par semaine pour 45 minutes. Les résultats montrent une amélioration significative des capacités d'inhibition dans les deux groupes.

D'autres recherches ont comparé les performances d'inhibition et de flexibilité chez des enfants musiciens et non musiciens âgés de 9 à 15 ans. Les résultats montrent que les enfants musiciens sont plus performants que les non-musiciens dans les deux tâches, et cela quel que soit leur âge (Saarikivi *et al.*, 2016). Ces différences sont associées à des différences de fonctionnement cérébrale, notamment au niveau des aires auditives ou sensorimotrices engagées dans la pratique musicale (Bermudez et Zatorre, 2005 ; Bangert et Schlaug, 2006 ; Zatorre *et al.*, 2007).

En conclusion, plusieurs facteurs internes et externes tels que le bilinguisme, le SSE, la culture, le stress, influent les réseaux neuronaux dédiés au contrôle cognitif et sollicitent une activation corticale distribuée qui finit par converger vers les parties frontales (Bialystok, Craik *et al.*, 2012), et donc influencent le développement des fonctions exécutives.

Depuis une vingtaine d'année, les observations cumulées renforcent l'hypothèse selon laquelle les perturbations du développement des fonctions exécutives sont nombreuses chez l'enfant, ou du moins qu'elles sont rencontrées dans des contextes cliniques divers. En fait, l'émergence précoce et la maturité tardive des fonctions exécutives exposent les enfants à une vulnérabilité particulière en cas de troubles neuro- développementaux (Brosnan *et al.*, 2002 ; Costini *et al.*, 2017) ou de lésion acquise au niveau des réseaux fronto-sous-corticaux (Mattson,

Crocker et Nguyen, 2011 ; Mulder *et al.*, 2009). Cette vulnérabilité se caractérise par un risque élevé de perturbation dans l'émergence du comportement adaptatif et du contrôle exécutif. Nous poursuivons dans ce qui suit avec les troubles dysexécutifs.

2.6. Les troubles dysexécutifs

C'est à Harlow (1868) que l'on doit la première découverte des troubles comportementaux en lien avec une atteinte de la zone frontale grâce à son célèbre patient Phineas Gage. Plus tard, Baddeley (1986) a adopté l'expression des "troubles dysexécutifs" pour décrire un modèle commun de dysfonctionnement touchant la planification, la pensée abstraite, la flexibilité et le contrôle du comportement. Il s'agit d'un trouble neuro-développemental associé à un ensemble de symptômes exécutifs alors que les capacités intellectuelles sont préservées.

S'il n'existe pas de critères diagnostiques consensuels, les symptômes caractéristiques du syndrome dysexécutif sont désormais mieux décrits et peuvent apparaître à travers plusieurs formes de tableaux cliniques. Ainsi, la synthèse des troubles du contrôle exécutif s'avère très difficile compte tenu de la grande variabilité de leur expression qui interagit avec les particularités propres au contexte clinique dans lequel ces troubles apparaissent. Toutefois, certains auteurs distinguent trois grandes catégories de symptômes : cognitives, émotionnelles et comportementales (Roy *et al.*, 2002). Par ailleurs, conformément à la dichotomie (froid/chaud) suggérée par plusieurs auteurs, les désordres exécutifs se situent principalement au niveau du versant cognitif (aspect froid). Mais les difficultés peuvent aussi apparaître dans les situations qui impliquent le versant affectif ou motivationnel (versant chaud) (Zelazo et Muller, 2002 ; Hammarrenger, 2017 ; Volckaert, 2020).

Tout d'abord, le syndrome dysexécutif cognitif est associé à l'altération des processus cognitifs permettant d'élaborer et de contrôler volontairement les comportements dirigés vers un but : la planification, le raisonnement, la découverte de règles. Les atteintes du versant cognitif des fonctions exécutives peuvent apparaître relativement dissociées au sens où un déficit préférentiel de certains processus exécutifs peut être observé. Selon Mazeau et Pouhet (2016), le défaut d'inhibition constitue le symptôme central du syndrome dysexécutif.

Ensuite, les symptômes émotionnels peuvent être très extrêmes et causer des problèmes étendus. Les personnes ayant des symptômes émotionnels peuvent avoir des difficultés d'inhibition de nombreux types d'émotions comme la colère, l'excitation, la tristesse ou la frustration.

Enfin, au sujet des symptômes comportementaux, les avis des auteurs restent divergents. Pour certains, l'autorégulation du comportement est comprise dans les composantes exécutives dites « chaudes » (Roy *et al.*, 2012). Pour d'autres, l'autorégulation n'est pas considérée comme exécutive, toutefois ils admettent la présence d'un lien étroit avec le fonctionnement exécutif (Godefroy *et al.*, 2008). Par ailleurs, la relation entre fonctions exécutives et comportement est basée sur des observations anatomo-cliniques et fonctionnelles (Godefroy *et al.*, 2008).

2.7. L'entraînement des fonctions exécutives

La rééducation neuropsychologique des troubles exécutifs chez l'enfant constitue un enjeu de santé publique considérable et un défi majeur (Mazeau, 2005). Les exercices de rééducation se basent sur la notion de plasticité cérébrale, un mécanisme permettant la réorganisation architecturale et fonctionnelle du cerveau (Anderson, Winocur et Palmer, 2003). Ainsi, la rééducation neuropsychologique vise à améliorer une fonction précise par la répétition d'exercices ciblant cette fonction (Therrien, 2021). La réorganisation des fonctions adopte deux types de processus distincts (Lussier et Flessas, 2009) : les processus *Bottom-up* qui permettent le développement de modes d'intervention directs ou « approches spécifiques au domaine ». A cet égard, les entraînements intensifs et répétitifs des mécanismes de bas-niveau augmentent la capacité fonctionnelle et facilite la réorganisation corticale supposée agir sur les processus de haut-niveau (*Ibid*). Toutefois, les processus *Top-down* ciblent l'activation des fonctions cognitives supérieures afin d'agir sur des systèmes inférieurs (*Ibid*).

A l'issue de la remédiation, plusieurs effets peuvent se manifester. Il y a tout d'abord les effets directs qui correspondent à l'amélioration de la ou les fonction(s) entraînée(s). Il y a également des effets indirects qui touchent d'autres fonctions non entraînées ou « effets de transfert » ou de généralisation des acquis. Enfin, les effets peuvent se maintenir dans le temps et sont désignés comme des effets de maintien des acquis (De Lillo *et al.*, 2021).

Deux types d'entraînement sont ainsi distingués : d'une part, les entraînements pédagogiques permettant de renforcer le développement normal des fonctions exécutives des enfants au cours de la période de l'enfance et de l'adolescence (Anderson *et al.*, 2002) ; d'autre part, les programmes rééducatifs ciblant les individus ayant un développement atypique ou un déficit spécifique des fonctions exécutives.

2.7.1. Les entraînements pédagogiques

L'utilité d'un programme d'entraînement auprès des enfants tout-venant est d'autant plus importante qu'il peut donner lieu non seulement à des améliorations au niveau des fonctions exécutives mais également à des effets de transfert à d'autres compétences. Cela s'explique par la faculté des réseaux de neurones à se réorganiser sous l'influence de la répétition. Dans cette perspective, Houdé (2018) met l'accent sur l'importance de la « pédagogie du cortex préfrontal ». L'entraînement est considéré comme un véritable soutien pour les apprentissages (Mazeau et Pouhet, 2014). Parmi les programmes, on peut citer les programmes « Tools of the Mind » (Blair et Raver, 2014), « Montessori » (Lilliard, 2006), « Paths, Promoting alternative thinking strategies » (Riggs *et al.*, 2006) et « Chicago School Readiness Project » (Raver *et al.*, 2009). Ces programmes sont délivrés par les enseignants eux-mêmes. Les compétences exécutives et la réussite scolaire étant fortement corrélées, il est toutefois difficile d'établir le lien direct de causalité entre ces programmes et le développement propre des fonctions exécutives (Jacob et Parkinson, 2015). Ce type de programmes est néanmoins également recommandé pour les enfants avec troubles dysexécutifs.

2.7.2. Les entraînements spécifiques des fonctions exécutives dans les troubles spécifiques des apprentissages

Dans le cadre de son travail de thèse, Kechichian (2021) souligne l'utilité de cibler les fonctions exécutives pour dépister, évaluer et rééduquer les troubles spécifiques d'apprentissage. L'auteure recommande également des entraînements intensifs et répétitifs ciblés sur les fonctions exécutives altérées. Des exercices d'attention, de raisonnement, de flexibilité et de planification sont notamment proposés en fonction des difficultés de l'enfant (*Ibid*). L'efficacité de ces recommandations reste toutefois à démontrer.

Jusqu'à présent, la grande majorité des travaux ont ciblé la remédiation des enfants avec troubles d'apprentissage sur la mémoire de travail et le processus de mise à jour. Et le moins que l'on puisse dire est que les résultats ne sont pas vraiment probants. En effet, plusieurs études ont été conçues pour entraîner la mémoire de travail (Klingberg, 2010 ; Könen *et al.*, 2016). Le logiciel de formation cognitive « Cogmed » cible la rééducation de la mémoire de travail et il a fait l'objet de très nombreuses études, principalement chez l'enfant ayant un trouble déficitaire de l'attention/hyperactivité. Les données de la littérature révèlent qu'il peut améliorer la mémoire de travail verbale et visuo-spatiale et la mémoire à court terme visuo-spatiale chez les enfants avec TDA/H (Holmes *et al.*, 2010). En outre, il améliore la mémoire verbale à court terme chez les enfants à faible niveau de mémoire de travail (Holmes, Gathercole et Dunning, 2009). Certains travaux mettent en évidence des gains persistants à un an (Dunning et Holmes, 2014). Cependant, les données sur le transfert aux capacités de mathématiques et de lecture sont par contre contradictoires (*Ibid*). Une autre étude effectuée sur l'entraînement de la mémoire de travail auprès de jeunes adultes (moyenne d'âge : $25,6 \pm 3,3$ ans) à la tâche de *n-back*, a démontré un transfert. En comparaison au groupe contrôle, les membres du groupe ayant suivi l'entraînement améliorent leurs performances à la tâche entraînée, mais progressent également leurs performances au test d'intelligence fluide montrant un transfert éloigné (Jaeggi *et al.*, 2008).

Alloway *et al.* (2013) ont entraîné la mémoire de travail d'enfants présentant des difficultés d'apprentissage pendant 8 semaines, à raison de 4 séances par semaine. Les auteurs rapportent des améliorations de la mémoire de travail, tant verbale que visuo-spatiale, immédiatement après l'intervention. Toutefois, les effets ne se maintiennent pas huit mois après l'intervention. Maehler *et al.* (2019) ont mis en place un entraînement des capacités de mémoire de travail verbale et visuo-spatiale auprès d'enfants dyslexiques. L'étude n'a pas montré d'amélioration significative sur les tâches entraînées. Dans le même ordre d'idée, les travaux de Therrien (2021) révèlent qu'un entraînement de la mémoire de travail effectué auprès d'enfants dyslexiques ne permet pas d'améliorer les capacités de cette composante, ni les habiletés de lecture et d'écriture. En revanche, les résultats de l'entraînement réalisé par le biais du programme CogniFit sur la mémoire de travail verbale et visuo-spatiale des jeunes adultes dyslexiques rapportent une amélioration des capacités de mémoire de travail tant sur les tâches verbales que visuo-spatiales (Shiran et Breznitz, 2011). A signaler que l'entraînement consiste en 4 séances hebdomadaires de 15 minutes, réparties sur 6 semaines. Les auteurs rapportent également des améliorations des capacités en lecture, notamment en décodage et en

compréhension du matériel lu. L'effet de transfert aux capacités en lecture suite à un entraînement de la mémoire de travail auprès d'enfants dyslexiques est également obtenu dans l'étude de Akbari *et al.* (2019). La méta-analyse de Au *et al.* (2014) confirme également qu'un entraînement à la mémoire de travail permet un transfert sur les capacités d'intelligence fluide.

En conclusion, il est possible d'entraîner la mémoire de travail chez des personnes dyslexiques, mais les effets ne sont pas systématiques sur les tâches entraînées. De plus, les effets de transfert et de maintien dans le temps semblent difficiles à obtenir (pour une méta-analyse voir Melby-Lervåg et Hulme, 2013).

Par ailleurs, les études qui ont porté sur les effets d'entraînement de l'inhibition et de la flexibilité cognitives sont peu nombreuses. Partant du postulat qu'un entraînement des composantes d'inhibition et de flexibilité serait susceptible d'améliorer les performances en lecture, Bargue (2013) a évalué les effets d'un entraînement de ces deux composantes exécutives auprès de quatre enfants dyslexiques âgés entre 10 et 11 ans. Une amélioration significative des processus de flexibilité et d'inhibition est associée à une amélioration significative des compétences de décodage de mots et de vitesse de lecture. Des gains notables en compréhension de la lecture (>1 ET) et en dénomination rapide alternée (>3 ET) sont également observés après l'entraînement. La généralisation de ces résultats reste toutefois limitée en raison de la faible taille de l'échantillon.

La recherche de Noël (2007) a également mis en évidence les effets bénéfiques d'un travail spécifique sur les fonctions d'attention et d'inhibition. Dans une première, étude, un bilan complet des fonctions cognitives est effectué auprès de 16 enfants âgés de 8 à 16 ans pour déterminer précisément les fonctions déficitaires de ces enfants. Tous les enfants sont ensuite soumis à un entraînement adapté sur les fonctions attentionnelles ou inhibitrices selon les déficits repérés. Chaque enfant bénéficie alors d'une séance de rééducation de 45 minutes par semaine pendant 20 semaines. Les résultats de cette première étude confirment l'efficacité de ces entraînements ciblés sur l'attention ou l'inhibition. Dans une seconde étude, Noël (2007) s'est demandée si, en cas de trouble mixte touchant à la fois l'attention et l'inhibition, il est préférable de débiter par une rééducation de l'une ou de l'autre de ces fonctions. Six enfants de 8 à 10 ans présentant des déficits d'attention et d'inhibition sans troubles neurologiques sous-jacents ont été répartis dans deux groupes thérapeutiques. Les enfants du premier groupe ont bénéficié d'abord de 15 séances de rééducation de l'inhibition, puis d'une autre série de 15 séances de rééducation portant cette fois sur l'attention. Les enfants du second groupe ont suivi

15 séances de rééducation de l'attention, puis 15 autres séances de rééducation portant cette fois sur l'inhibition. Dans les deux groupes, les séances de rééducation durent 30 minutes et se passent à raison de 3 séances par semaine. Les résultats de cette deuxième étude montrent que la rééducation de l'inhibition a des effets positifs sur les capacités attentionnelles et le comportement de l'enfant alors qu'une rééducation isolée de l'attention entraîne une détérioration des capacités d'inhibition de l'enfant et sur son comportement en général. En conclusion, il semblerait qu'un entraînement de l'inhibition soit non seulement efficace sur les effets directs mais surtout le seul efficace relativement à un entraînement ciblé sur l'attention.

Une recherche de Bedoin *et al.* (2009) confirme les bénéfices d'un entraînement très spécifique ciblé sur l'inhibition. L'auteur entraîne le processus d'inhibition de détails visuels chez des enfants présentant une dyslexie de surface. La remédiation consiste en 5 séances hebdomadaires de 20 minutes pendant 4 semaines. À l'issue de l'intervention, les évaluations montrent non seulement une amélioration des capacités d'inhibition de stimuli visuels non pertinents mais également des progrès en lecture et en écriture sous dictée, notamment pour les mots irréguliers. Si l'entraînement ciblé sur l'inhibition provoque des effets directs et des effets de transfert sur un échantillon d'enfants présentant une dyslexie de surface, d'autres travaux montrent également l'intérêt d'un entraînement plus étendu des fonctions exécutives auprès d'autres populations dyslexiques.

Pasqualotto et Venuti (2020) ont récemment adapté un entraînement exécutif auprès d'enfants dyslexiques (phonologiques, de surface et mixtes) à raison de 5 séances hebdomadaires d'une trentaine de minutes durant 5 semaines. Le programme d'entraînement cible l'ensemble des fonctions exécutives (flexibilité, inhibition, attention et mémoire de travail). Les résultats montrent des améliorations sur les fonctions exécutives entraînées ainsi que des gains significatifs en termes de précision et de vitesse de lecture. En outre, les analyses de régression multiple révèlent que les gains en lecture sont corrélés à l'amélioration des fonctions exécutives. Plus précisément, les améliorations de l'attention visuo-spatiale et de la mémoire de travail verbale sont associées au progrès en vitesse de lecture, tandis que les améliorations de l'attention visuo-spatiale et auditive et de l'inhibition sont associées aux progrès en précision de lecture. D'autres travaux ont également ciblé l'entraînement de plusieurs composantes de la fonction exécutive (par exemple, Röthlisberger *et al.*, 2012 ; Traverso *et al.*, 2019). Ces études ont rapporté plus de transfert proche et lointain.

En ce qui concerne la flexibilité cognitive, quelques études ont entraîné cette composante dans la petite et moyenne enfance. Kloo et Perner (2003) ont exercé des enfants de 3 et 4 ans sur le DCCS. Avant et après l'entraînement, les enfants ont effectué le DCCS et une tâche de fausse croyance (false-belief task) (ainsi qu'un certain nombre de tâches de contrôle), y compris une nouvelle version du DCCS au post-test. Les enfants entraînés ont montré des améliorations plus importantes sur le DCCS et sur la tâche de fausse croyance que les enfants contrôles non entraînés. Ils ont également obtenu de meilleurs résultats dans la nouvelle tâche du DCCS. Ainsi, l'entraînement n'a pas seulement des effets de transfert sur les tâches de flexibilité mais aussi sur la compréhension des fausses croyances.

Chez les enfants d'âge scolaire, un certain nombre d'études ont appliqué la tâche de changement de paradigme (task-switching paradigm) afin d'entraîner la flexibilité cognitive. En adoptant une approche (lifespan), Cepeda *et al.* (2001) ont testé un échantillon âgé de 7 à 82 ans sur des blocs à tâche unique et à tâche mixte (N=152). Après trois séances d'entraînement, les participants, et en particulier les enfants, ont significativement progressé sur les tâches de maintien et de sélection (Kray *et al.*, 2008). Suite à ces gains d'entraînement, d'autres études ont cherché à savoir si l'entraînement de la flexibilité cognitive se transfère également à des tâches et des domaines non entraînés (par exemple, Karbach et Kray, 2009 ; Zinke *et al.*, 2012). Karbach et Kray (2009) ont demandé à des enfants (âgés de 8 à 10 ans) ainsi qu'à des adultes plus jeunes et plus âgés (N=168) d'effectuer quatre séances d'entraînement aux tâches de flexibilité. Les résultats ont montré des améliorations des performances dans une tâche de flexibilité non entraînée par rapport à un groupe témoin effectuant un entraînement à une seule tâche. De plus, l'entraînement a amélioré l'inhibition, la mémoire de travail verbale et visuo-spatiale ainsi que l'intelligence fluide. Sur la base du transfert d'entraînement sur la mémoire de travail et l'inhibition, une autre étude a testé les effets de l'entraînement de la flexibilité auprès des enfants atteints de TDAH. Après quatre séances d'entraînement auprès de 20 garçons âgés de 7 à 12 ans atteints de TDAH, des améliorations significatives sont observées au niveau de la flexibilité, de l'inhibition et de la mémoire de travail (Kray *et al.*, 2012). Ces résultats indiquent que l'entraînement de la flexibilité cognitive peut être un facteur clé pour améliorer d'autres dimensions des fonctions exécutives. A noter que le transfert est moins prononcé dans d'autres études comme celles de Zinke *et al.* (2012) ou Dörrenbächer *et al.*, (2014).

Zinke et ses collaborateurs (2012) ont évalué les effets d'un entraînement de la flexibilité chez des jeunes de 10 à 14 ans (N=80). Après trois séances d'entraînement, les participants ont montré des gains significatifs et un transfert vers une tâche de flexibilité non entraînée, mais pas de transfert vers d'autres composantes comme l'inhibition.

Les programmes d'entraînement basés sur le DCCS et les tâches de flexibilité ont produit des améliorations significatives de la flexibilité durant l'enfance et l'adolescence. De plus, un transfert vers d'autres dimensions non entraînées des fonctions exécutives est possible, même si les résultats sont hétérogènes, tout comme ils le sont pour d'autres types d'entraînement cognitif (pour des revues, voir Karbach et Kray, 2016 ; Könen *et al.*, 2016). Cependant, les études ont presque exclusivement analysé les données au niveau du groupe et ont ignoré les différences individuelles dans les gains induits par l'entraînement (voir Könen et Karbach, 2015 ; Katz *et al.*, 2016). Il semble ainsi crucial de prendre en compte les différences individuelles dans les effets d'entraînement ainsi que le développement de la performance individuelle pendant l'entraînement pour analyser les effets de ces entraînements. Des études ont montré par exemple que l'entraînement des fonctions exécutives entraîne souvent des effets de compensation, indiquant que les participants ayant des performances de base inférieures bénéficient davantage des entraînements (Bherer *et al.*, 2008 ; Karbach et Kray, 2009 ; Zinke *et al.*, 2012). De plus, les différences liées à l'âge, au niveau d'intelligence fluide (Bürki *et al.*, 2014), aux aspects motivationnels (Katz *et al.*, 2016) et aux gains d'entraînement (Jaeggi *et al.*, 2011) semblent contribuer grandement aux effets d'entraînement. Les mécanismes sous-jacents à ces effets sont toutefois encore largement inconnus, en particulier dans la petite enfance.

En conclusion, relativement peu d'études ont ciblé l'entraînement des fonctions exécutives auprès des enfants ayant des troubles spécifiques d'apprentissage. En regard des relations entre les capacités exécutives et les capacités d'apprentissage, notamment la lecture et les mathématiques, l'utilisation de stratégies rééducatives visant à améliorer le fonctionnement exécutif devrait pourtant s'avérer prometteur (Mazeau, 2005).

2.7.3. Principes généraux des entraînements

Les nombreuses études de rééducation basées sur les fonctions exécutives permettent de recenser plusieurs principes généraux qui sous-tendent l'efficacité des entraînements réalisés.

Premier principe. Les recherches présentant des résultats probants sont d'abord celles qui impliquent un entraînement répété avec une difficulté adaptée à l'enfant et surtout croissante tout au long de la période d'apprentissage afin d'empêcher l'automatisation des processus cognitifs et la mise en place de stratégies (Green et Bavelier, 2008 ; Klingberg, 2010 ; Enriquez-Geppert et *al.*, 2013).

Second principe. La durée étendue et la fréquence élevée de l'entraînement constituent un point commun des entraînements proposés. Plus l'entraînement est long avec une fréquence répétée plus les effets sont importants sur le plan comportemental et cérébral (Diamond et Ling, 2016 ; Chavan et *al.*, 2017), même si un entraînement de quelques minutes seulement peut suffire pour induire chez l'adulte une amélioration de performance et des modifications au niveau cérébral fonctionnel (Houdé et *al.*, 2000). Ce caractère intensif nécessite souvent l'implication des parents ou des proches de l'enfant.

Troisième principe. La rééducation doit prioriser le contexte et le contenu (Feeney et Ylvisaker, 2003 ; Ylvisaker et *al.*, 2005 ; Ylvisaker, Hanks et Johnso-Greene, 2002), c'est-à-dire le choix des exercices le plus écologiques et les plus fonctionnels possibles, plutôt que des exercices décontextualisés de la vie familiale et scolaire de l'enfant. L'administration de la rééducation sur les lieux de vie de l'enfant est à privilégier afin de faciliter le transfert et la généralisation. Il faut souligner également la motivation des participants qui constitue un point fondamental. L'implication et l'envie de progresser doivent être présentes tout au long de la durée de l'entraînement (Green et Bavelier, 2008). Si les activités proposées sont considérées comme ennuyeuses ou répétitives par les enfants, cela se répercute négativement sur les résultats. Les meilleures approches pour améliorer les fonctions exécutives sont celles qui aident l'enfant à s'engager dans ce qui le passionne et lui apporte joie et fierté (Diamond, 2011).

Quatrième principe. Les techniques visant à améliorer les fonctions exécutives doivent être envisagées lorsque les fonctions cognitives de base qui sous-tendent les fonctions exécutives sont suffisamment matures ou compensées. Il est essentiel que les rééducations proposées soient adaptées de point de vue développemental étant donné que la maturation des lobes frontaux survient tardivement pendant l'adolescence et au début de l'âge adulte (Blakemore et Choudhury, 2006). Ainsi, les techniques élaborées pour les adultes ont peu de chance d'être bénéfiques pour les enfants même si elles sont adaptées, en particulier si elles requièrent des capacités méta-cognitives qui ne sont pas celles d'un enfant (Krasny-Pacini *et al.*, 2015).

Nous poursuivrons dans le chapitre 3 avec les liens établis entre le bilinguisme, les fonctions exécutives et les performances scolaires.

CHAPITRE 3

Relations entre bilinguisme, fonctions exécutives et performances scolaires

Dans un premier temps, nous présentons une revue de littérature synthétique consacrée aux relations entre bilinguisme et fonctions exécutives. Ensuite, nous développerons les études qui se sont intéressées aux relations entre bilinguisme et performances scolaires. Enfin, nous discuterons des relations entre fonctions exécutives et performances scolaires, particulièrement au niveau de la lecture et des mathématiques. Nous clôturons le chapitre avec un aperçu sur les troubles spécifiques des apprentissages et leurs liens avec les fonctions exécutives et le bilinguisme.

3.1. Bilinguisme et fonctions exécutives

La question de savoir si l'acquisition d'une deuxième langue apporte des avantages au développement des fonctions exécutives fait l'objet de débats scientifiques controversés. De nombreux auteurs mettent en avant les bénéfices du bilinguisme dans différents domaines tels que le raisonnement, la créativité, les théories de l'esprit, la résolution de problèmes (Carlson et Meltzoff, 2008 pour une synthèse), ainsi que sur les fonctions exécutives (Peal et Lambert, 1962 ; Bialystok et Barac, 2012). Toutefois, s'agissant des fonctions exécutives, plusieurs auteurs contestent les effets bénéfiques du bilinguisme et soulignent même des effets délétères (Nichols *et al.*, 2020 ; Paap *et al.*, 2015)

3.1.1. Les avantages du bilinguisme sur les fonctions exécutives

De nombreuses études reconnaissent les avantages du bilinguisme sur l'efficacité du fonctionnement attentionnel et exécutif (Ratiu et Azuma, 2015 ; Rosselli *et al.*, 2016 ; Dahlgren, Almén et Dahlgren-Sandberg, 2017 ; Kechichian, 2021), et cela à tous les âges, et quelles que soient les langues pratiquées (Kapa et Colombo, 2013). Pour Nicolay et Poncelet (2012), la flexibilité cognitive, l'inhibition des interférences et la mémoire de travail impliquent toutes les trois un processus cognitif commun « le contrôle exécutif ». Ce serait ces trois composantes qui bénéficieraient davantage du bilinguisme (Blom *et al.*, 2014 ; Nicolay et Poncelet, 2013 ; Van Assche, Duyck et Gollan, 2013 ; Barac, Moreno et Bialystok, 2016 ; Dahlgren, Almén et Dahlgren-Sandberg, 2017). En revanche, l'inhibition de réponses dominantes et l'impulsivité ne bénéficieraient pas du bilinguisme (Bialystok et Viswanathan, 2009 ; Nicolay et Poncelet, 2013).

Peal et Lambert (1962), les pionniers des travaux sur le bilinguisme, ont été les premiers à réaliser une étude comparative sur la relation entre bilinguisme et l'intelligence. Les auteurs ont comparé les habiletés des enfants âgés de 10 ans monolingues (français) avec des bilingues (anglais-français) provenant d'un même milieu socio-économique sur une série de tests d'intelligence verbale et non verbale. Les chercheurs ont minutieusement apparié les enfants sur l'âge, le sexe et le niveau socio-économique. Les résultats de cette étude révèlent une meilleure performance intellectuelle et une flexibilité mentale plus efficiente chez les bilingues, notamment sur les épreuves qui nécessitent une manipulation et une réorganisation symbolique. Cette recherche est la première à répondre à une rigueur méthodologique permettant une comparaison valable entre les deux groupes (monolingue/bilingue). Depuis cette étude, de nombreux résultats empiriques ont retrouvé leurs observations.

Balkan (1970) a administré différentes épreuves exécutives chez des enfants suisses bilingues afin d'évaluer leur flexibilité cognitive. L'une d'elle (Figures Cachées) évalue la capacité à réorganiser une situation perceptive et une autre (Histoires) implique la sensibilité aux différentes significations d'un mot. Le groupe bilingue a obtenu des résultats nettement supérieurs dans les deux tâches en comparaison avec les monolingues. L'auteur précise que les avantages du bilinguisme sont plus importants sur les résultats des deux tests en situation du bilinguisme précoce (avant 4 ans). De plus, les différences ne sont pas statistiquement significatives entre les monolingues et les bilingues ayant acquis la deuxième langue à un âge plus avancé. Au final, Balkan (*ibid.*) conclut sur l'avantage du bilinguisme simultané sur des tâches exécutives verbale et non verbale. Plusieurs travaux ont conforté cette hypothèse. Köpke (2009), par exemple, conclut également sur les bénéfices du bilinguisme précoce et simultané aux deux langues.

Bialystok et Jim Cummins (1991) se sont basés sur la théorie de Vygotski (1934/1997) pour comprendre le fonctionnement cognitif et exécutif des personnes bilingues. Vygotski (1934/1997) a en effet établi un lien entre le niveau de conscience métalinguistique de l'enfant et l'acte de s'approprier les signes linguistiques des adultes afin d'autoréguler son propre comportement. Les auteurs ont alors suggéré un cadre explicatif qui se décline sous la forme de trois propositions. Premièrement, les enfants bilingues exposés systématiquement à deux langues développent à un âge très précoce une conscience objective du langage et ils sont très tôt conscients de ses fonctions d'autorégulation (Bialystok, Peets et Moreno, 2014). Deuxièmement, la conscience métalinguistique des propriétés linguistiques et non linguistiques

du langage est à la base d'une meilleure capacité de contrôle, tant des productions langagières que de l'utilisation des fonctions du langage. Enfin, troisièmement, l'utilisation accrue et plus efficace du langage pour les fonctions cognitives apporte un avantage aux enfants bilingues sur les tâches verbales et non-verbales. Ainsi, une expérience bilingue précoce procure aux enfants une certaine flexibilité cognitive. La provenance de cette flexibilité consiste en une bonne utilisation des fonctions d'autorégulation du langage.

L'étude de Bialystok (1999), reprise ultérieurement par Bialystok et Martin (2004), montre effectivement que les enfants bilingues ont un meilleur contrôle exécutif qui leur permet de s'adapter aux nouvelles règles et de résoudre plus rapidement une tâche de flexibilité que les monolingues. Les auteurs expliquent cet avantage par le fait que les bilingues activent deux représentations linguistiques, et que l'une des deux doit constamment être inhibée afin de prévenir les interférences (Bialystok *et al.*, 2011). Ainsi, les sujets bilingues utilisent davantage leur capacité d'inhibition afin d'éviter l'interférence éventuelle de la seconde langue en expression orale. Cette faculté implique l'intervention de mécanismes de sélection qui améliorent les mécanismes d'attention sélective, entraînant également des bénéfices dans le contrôle du langage. Cette hypothèse, largement reprise, semble d'autant plus plausible que le fait d'inhiber une langue, puis d'alterner d'une langue à l'autre, entraînerait un coût exécutif particulièrement important (Colomé et Miozzo, 2010). Ce coût proviendrait du contrôle attentionnel requis pour prendre des décisions rapides comme c'est le cas pour les tâches d'inhibition et d'alternance (Garcia-Krafes et Sellal, 2015).

Bialystok (2011) a réalisé une étude sur une tâche de catégorisation auprès des enfants âgés de 8 ans. En situation de doubles tâches, les enfants bilingues sont plus rapides que les enfants monolingues particulièrement dans les réponses aux stimuli visuels, ce qui montre une meilleure efficacité au niveau de l'attention visuelle. Ces résultats corroborent avec les données de Costa, Hernandez et Sebastian-Galles (2008) qui parviennent au même constat avec de jeunes adultes bilingues. D'autres études utilisant l'imagerie cérébrale (Gollan et Brown, 2006 ; Luk, Anderson, Craik, Graidy et Bialystok, 2010) ont étudié les différences d'activation entre les adultes bilingues et monolingues. Luk et ses collègues (2010) ont trouvé de différences d'activation neuronale lors de tâches de suppression d'interférence. En effet, au cours des essais incongruents de la *Flanker task*, les monolingues ont activé le cortex temporal gauche et les régions pariétales supérieures gauches ; en revanche les bilingues activent des régions temporales, frontales bilatérales et sous-corticales. Pour autant, les performances ne sont pas

significativement différentes entre monolingues et bilingues. Ces résultats sont particulièrement intéressants car ils vérifient la présence d'un effet du bilinguisme sur le fonctionnement exécutif, suffisamment conséquent pour transformer le fonctionnement du cerveau. Toutefois, les auteurs mettent en question la sensibilité des tests utilisés pour évaluer ces fonctions.

Yow et Li (2015) ont comparé les performances de jeunes adultes bilingues singapouriens sur quatre tâches exécutives (Stroop, Lettres-nombres, N-Back, Flanker) en fonction de leur expérience du bilinguisme déterminé par l'âge d'acquisition de la L2, le niveau de maîtrise des deux langues parlées et leur fréquence d'usage. L'appartenance socio-culturelle des participants a été également strictement contrôlée (même nationalité, même ethnie, mêmes langues parlées et même niveau d'éducation). Les résultats montrent une relation positive et significative entre l'expérience du bilinguisme et les performances aux tâches d'inhibition (Stroop) et de flexibilité cognitive (Lettres-nombres). En revanche, aucun effet significatif du bilinguisme n'est observé sur les tâches de mise à jour en mémoire de travail (N-Back) et d'attention visuelle avec inhibition (Flanker). Ces résultats suggèrent que les effets du bilinguisme sur le contrôle exécutif sont spécifiques et n'affectent pas de façon globale le fonctionnement exécutif. Yow *et al.* (2015) expliquent ces différences du fait que les bilingues doivent constamment exercer un contrôle attentionnel sur les deux langues et prendre rapidement des décisions (comme c'est le cas dans les tâches Stroop et Lettres-nombres) sans pour autant solliciter les systèmes qui contrôlent la mémoire de travail et l'attention visuelle (comme c'est le cas dans les tâches N-Back et Flanker). Plus récemment, Crivello, Kuzyka, Rodrigues, Friend, Zesiger et Poulin-Dubois (2016) ont comparé le fonctionnement exécutif de très jeunes enfants canadiens bilingues (âgé entre 2 ans et 2 ans et demi) exposés à l'anglais et au français dès la naissance à celles d'enfants américains monolingues exposés uniquement à l'anglais. Les chercheurs ont évalué les effets précoces de la fluence verbale chez les jeunes bilingues sur les fonctions exécutives. Les résultats révèlent un avantage significatif chez les bilingues âgés de 31 mois à la tâche d'inhibition cognitive (tâche de conflit) mais pas à la tâche d'inhibition motrice (tâche de délai). Toutefois, les auteurs ne rapportent aucune différence significative entre les deux groupes sur la tâche de mémoire de travail. Ainsi, les tout-petits bilingues ayant une augmentation plus importante du nombre d'équivalents de traduction ont plus de pratique dans le passage d'un système lexical à un autre, ce qui renforce les capacités des fonctions exécutives. La croissance du vocabulaire en soi ne permet pas de prédire les

avantages cognitifs chez les bilingues mais c'est le changement de langue et le mécanisme de co-activation qui sont responsables de cet avantage.

Santillan et Khurana (2018) ont effectué une étude sur 1146 enfants monolingues et bilingues, d'âge préscolaire issus d'un milieu socio-économique faible. Malgré le contexte socio-économique défavorisé, les résultats liés à l'efficacité du contrôle inhibiteur et à son développement sont meilleurs chez les enfants bilingues aux niveaux préscolaire et maternelle. Dans une autre étude longitudinale, Park, Weismer et Kaushanskaya (2018) ont examiné durant deux années le développement de l'inhibition, de la mise à jour et de la flexibilité chez des enfants d'âge scolaire monolingues (Anglais, N=41) et bilingues (Anglais/Espagnol, N=41). Les résultats obtenus lors de la première année sont cohérents avec les études qui n'ont signalé aucun avantage du bilinguisme sur l'inhibition pendant l'enfance (par exemple, Antón *et al.*, 2014 ; Duñabeitia *et al.*, 2014). En revanche, les résultats obtenus au cours de la deuxième année corroborent avec un certain nombre d'études qui ont accordé des avantages du bilinguisme sur l'inhibition pendant l'enfance (par exemple, Poarch et Van Hell, 2012 ; Yang *et al.*, 2011). Par ailleurs, les deux groupes ne diffèrent pas dans le développement de la mise à jour et de la flexibilité dans les deux temps.

Globalement, les résultats des recherches semblent conforter les effets bénéfiques du bilinguisme sur le développement des principales composantes du fonctionnement exécutif, tout au moins chez l'adulte. Toutefois, certains auteurs ont douté de l'existence d'un avantage cognitif bilingue (Paap *et al.*, 2015). Nous allons aborder dans ce qui suit les études qui remettent en question cet avantage.

3.1.2. Les contraintes du bilinguisme

Pour Bialystok (2017), les travaux qui rapportent des effets délétères du bilinguisme sur les fonctions exécutives sont peu nombreux comparativement à ceux qui soulignent leurs effets bénéfiques. En fait, les bilingues obtiennent de meilleurs résultats que les monolingues dans une grande variété de tâches cognitives, y compris l'inhibition, la mémoire de travail et l'attention. Ces avantages semblent s'étendre à la vieillesse, protégeant les bilingues des maladies liées à l'âge, telles que la maladie d'Alzheimer et d'autres démences (Bialystok, 2017). Toutefois, plusieurs recherches font ressortir un déficit spécifique des bilingues comparativement aux monolingues sur le plan verbal notamment au niveau des habiletés de récupération lexicale (Gollan, Montoya et Werner, 2002 ; Portocarrero, Burright et Donovick,

2007, Rosselli *et al*, 2000), même si les bilingues ont le choix de produire les réponses dans la langue qu'ils veulent. Mais ici encore, toutes les études ne retrouvent pas cet effet négatif (Michael et Gollan, 2005).

Pour Ivanova et Costa (2008), les jeunes adultes bilingues (espagnol-catalan) sont plus lents et moins précis dans la dénomination orale des images que les monolingues (espagnol). Bialystok *et al*. (2008) ont retrouvé ces résultats auprès d'une population bilingue américaine tout en montrant que les bilingues ne sont pas pour autant moins performants dans les tâches de mémoire de travail et de contrôle exécutif. Bialystok (2011) a confirmé ces résultats et trouvé que la dénomination orale est plus lente chez les bilingues. De plus, il est souvent trouvé un vocabulaire plus restreint chez les bilingues par rapport à des monolingues dans la L2 (Portocarrero *et al*, 2007), ou au moins à l'une des deux langues (Bialystok *et al*, 2011).

D'autres études remettent en question les effets du bilinguisme sur les fonctions exécutives (Antón, Duñabeitia, Estévez, Hernández, Castillo, Fuentes, Davidson and Carreiras, 2014 ; Paap et Greenberg, 2013 ; Lehtonen *et al.*, 2018 ; Nichols *et al.*, 2020). En fait, après une analyse des différents indicateurs comportementaux et neuronaux, Paap, Johnson et Sawi (2015) constatent qu'il est très difficile de détecter les avantages des bilingues, et dans le cas où ils existent, ils ne sont évidents que dans des circonstances spécifiques. Les auteurs justifient les avantages rapportés chez les bilingues par la petite taille des échantillons, par les biais de sélection des participants, ou encore à des outils d'évaluation inappropriés. De plus, certaines études ne confortent pas l'hypothèse des effets bénéfiques du bilinguisme sur les fonctions exécutives lorsqu'on contrôle les facteurs environnementaux. Par exemple, Abdelgafar et Moawad (2014) ont comparé deux groupes d'enfants (monolingues arabes et bilingues arabes/anglais) âgés de 7 à 10 ans appariés strictement sur le niveau de langage natif, le niveau d'éducation des parents et le statut socio-économique de la famille. Six tâches ont été administrées pour évaluer les fonctions exécutives : Stroop, Trail Making Test (TMT) (A et B), la tâche de fluence verbale, Wechsler Memory Scale (WMS), les matrices du Wechsler et le test de comparaison des noms. Les auteurs rapportent seulement deux différences importantes entre les groupes, la première au bénéfice des bilingues sur les tâches de flexibilité et la seconde au bénéfice des monolingues sur les temps d'accès lexical. La méta-analyse la plus complète à ce jour qui a examiné les avantages du bilinguisme sur l'inhibition, la flexibilité, la mémoire de travail, l'attention et la fluidité verbale (Lehtonen *et al.*, 2018) ne rapporte aucune preuve en faveur de ces avantages après corrections des biais potentiels. A partir de ce constat, Nichols et

ses collaborateurs (2020) ont réalisé une étude auprès de 11041 participants (moyenne d'âge= 18–87 ans) en les évaluant sur une large batterie comportant 12 épreuves (inhibition ; planification ; attention ; mémoire de travail ; raisonnement ; visuo-spatial). Aucune différence significative dans les fonctions exécutives n'a été observée entre les monolingues et les personnes bilingues. Les auteurs ont également cherché à savoir si le fait d'être bilingue protège contre le déclin cognitif lié à l'âge (Bialystok, 2017 ; Perani *et al.*, 2017). La comparaison des deux groupes (bilingues /monolingues) en fonction de l'âge n'a révélé aucune relation lorsque le niveau d'éducation, le statut socio-économique et le niveau de la langue sont contrôlés. Au final, l'étude n'apporte aucun crédit à d'éventuels effets protecteurs, même dans les tests qui sont sensibles au déclin lié à l'âge (par exemple, le *Paired Associates* et le *Polygons*).

En conclusion, malgré de nombreux résultats qui rapportent des effets bénéfiques du bilinguisme sur les fonctions exécutives, le débat sur la question reste ouvert. Les effets négatifs du bilinguisme sur les fonctions exécutives semblent affecter principalement la rapidité des traitements dans certaines tâches verbales et non verbales. Mais ici encore cette interprétation reste à conforter.

3.2. Bilinguisme et performances scolaires

Selon Bialystok (1997 ; Bialystok, Shenfield et Codd, 2000), le bilinguisme aurait des effets tout d'abord sur le langage oral, puis par la suite sur l'apprentissage du langage écrit. Les enfants bilingues semblent être particulièrement conscients du système écrit des langues, notamment du caractère invariable et arbitraire de la représentation écrite (Besse, Marec-Breton et Demont, 2010). Ils arrivent à mieux comprendre les modifications des correspondances grapho-phonémiques entre les systèmes des langues apprises. Le décodage phonologique se développerait séparément dans les deux langues en fonction de la structure et des expériences d'enseignement du système d'écriture de chacune d'elle (Bialystock *et al.*, 2005). Cette compréhension est une condition préalable à l'acquisition de la lecture (Besse, Marec-Breton, Demont, 2010). Pour Duverger (1998) « l'élève apprend mieux à lire avec deux langues » (p.45). En effet, l'utilisation de deux langues différentes dans l'apprentissage de la lecture permet à l'élève de prendre conscience que les choses de même nature présentent deux écrits différents. Des différences dans l'organisation des signes, des formes, mais beaucoup de ressemblances aussi au niveau de l'utilisation de l'espace, des ponctuations, des majuscules,

des accents, des repères typographiques vont être détectés plus rapidement par l'apprenant bilingue. Pour Duverger (*ibid.*), les parentés entre les formes d'écriture facilitent l'accès naturel et progressif à des compétences métalinguistiques et la conscience graphique. En outre, les enfants bilingues sont plus susceptibles de voir les possibilités créatives du langage et d'explorer leur propre créativité linguistique (Kohnert, Yim, Nett, Kan et Duran, 2005). Par ailleurs, de nombreuses études mettent en avant les avantages du bilinguisme sur les habiletés scolaire (Rolstad, Mahoney et Glass, 2005 ; Bialystok, Shenfield et Codd, 2000 ; Bialystok, McBride-Chang et Luk, 2005). Les enfants bilingues obtiennent de meilleurs résultats en mathématiques et en sciences que leurs homologues de langue maternelle. Toutefois, ces conclusions sont nuancées par certains travaux récents qui ne trouvent pas de différences entre les bilingues et les monolingues (Dallinger, Jonkmann, Hollm et Fiege, 2016) ou qui montrent un faible avantage chez les bilingues (Anghel, Cabrales et Carro, 2016). En effet, dans les situations de bilinguisme séquentiel, les enfants apprennent la L2 après la langue maternelle. Dès lors, on peut supposer que ce type de bilinguisme entraîne certaines difficultés par rapport à la situation des monolingues. Scheidnes (2012) rapporte dans sa thèse que les avancées actuelles sur le développement du langage chez les bilingues séquentiels portent essentiellement sur la morphosyntaxe, et notamment sur les pronoms clitiques objets et la morphologie verbale. Pour Delage (2008), les pronoms clitiques font partie des pronoms personnels de la langue française qui s'accrochent au verbe (devant lui) ou à l'auxiliaire et qui ne peuvent en être séparés. Les pronoms clitiques objets provoquent un mouvement syntaxique. En effet, lors de la pronominalisation du groupe nominal, les pronoms clitiques objets permettent de déplacer ce groupe d'une position d'objet post-verbale à une position pré-verbale (ex : Simone regarde un chat / Simone le regarde). Plusieurs travaux de recherche ont visé l'utilisation de ces pronoms par les enfants bilingues séquentiels. Par exemple, l'étude de Grüter (2005) réalisée sur un échantillon de 12 enfants monolingues francophones et 12 enfants bilingues séquentiels (langue maternelle anglaise et le français en L2) de même âge (entre 6 et 7 ans) révèlent que les enfants bilingues séquentiels produisent beaucoup moins de pronoms clitiques objets dans les contextes où ils sont requis et présentent beaucoup plus d'omissions par rapport aux monolingues. Paradis (2004) retrouve les mêmes résultats en comparant 10 enfants bilingues séquentiels et 10 enfants monolingues appariés en âge (âge moyen = 7 ans). Toujours chez les enfants bilingues séquentiels, des difficultés spécifiques au niveau de la production de la morphologie verbale sont rapportées. En fait, Paradis (2005) a comparé les performances des enfants bilingues (âgés entre 4 à 8 ans) par rapport aux normes des enfants monolingues anglophones de même âge dans des activités de langage standardisées permettant de mesurer

la capacité à utiliser les morphèmes grammaticaux. Les résultats démontrent que les scores des enfants monolingues sont largement supérieurs à ceux des bilingues séquentiels. Ainsi, les effets du bilinguisme sur les performances scolaires semblent être affecter par l'âge du premier contact à la L2. Nous développons dans la suite les effets du bilinguisme sur la lecture.

3.2.1. Bilinguisme et lecture

La question du lien entre bilinguisme, langage oral et langage écrit a fait l'objet de nombreuses recherches. Pour certains auteurs, le bilinguisme constitue l'une des principales variables linguistiques pouvant influencer l'apprentissage de la lecture, de l'écriture (Bialystok *et al.*, 2005) et des habiletés métalinguistiques (Gollan *et al.*, 2014). Afin de mieux comprendre la relation entre le bilinguisme et la lecture, et compte tenu de l'orientation de nos propres travaux sur les enfants présentant des troubles en lecture (dyslexie), il nous paraît nécessaire de revenir sur certains fondements de l'apprentissage de la lecture.

3.2.1.1. Apprentissage de la lecture

L'apprentissage de la lecture constitue la base de la réussite scolaire et de l'intégration sociale. Il s'agit d'une activité perceptive, cognitive et langagière, influencée par de multiples variables individuelles ou contextuelles telles que le niveau de connaissances linguistiques orales (Zesiger *et al.*, 2004), les fonctions cognitives (Bosse et Valdois, 2009 ; De Weck et Marro, 2010 ; Kibby *et al.*, 2014) et le bilinguisme des apprenants (Bialystok *et al.*, 2005). Ces variables régissent le développement des mécanismes de base et aboutissent progressivement à la lecture experte (Hajovsky *et al.*, 2014).

Le lecteur a besoin d'identifier les mots pour accéder à leur sens tout en mettant en œuvre des compétences cognitives complexes (Kibby *et al.*, 2014), linguistiques (Zesiger *et al.*, 2004) et environnementales (Ecalte et Magnan, 2010). L'identification des mots écrits et leur appariement au sens (l'accès sémantique) s'effectuent selon deux stratégies de base appelées les voies de la lecture : la *procédure d'assemblage (ou déchiffrage)* ou la voie d'adressage (ou *reconnaissance globale*). Pour lire correctement, les deux procédures sont indispensables. Les mots irréguliers ne peuvent être lus correctement que par la procédure d'adressage orthographique qui permet aussi un accès plus facile aux mots fréquents. En revanche, les pseudo-mots ne peuvent être lus que par la procédure phonologique qui favorise aussi la lecture

des mots nouveaux et noms propres. Par ailleurs, les deux voies sont complémentaires. Elles s'entrelacent et s'interpénètrent régulièrement car elles répondent à des contraintes différentes. L'enfant développe ces deux voies selon un tempo différent. La voie d'assemblage est utilisée en première intention par les débutants. Ensuite, la voie d'adressage se construit progressivement jusqu'à devenir prédominante chez l'expert. En fait, la voie d'adressage ne préexiste pas à l'apprentissage de la lecture, il se construit secondairement et progressivement au fil d'exposition aux mots écrits et de leur déchiffrement.

En outre, l'expertise en lecture nécessite l'étape de la compréhension écrite. Le fameux modèle SVR (*Simple View of Reading*) de Gough et Tunmer (1986) illustre les deux étapes de la lecture: $L \text{ (lecture)} = R \text{ (reconnaissance des mots)} \times C \text{ (compréhension)}$. Ainsi, si l'enfant éprouve des difficultés à comprendre ce qu'il lit c'est que les mécanismes de lecture ne sont pas suffisants ou bien qu'il existe un déficit de la compréhension écrite (pouvant être aussi déficitaire à l'oral).

Après avoir défini brièvement la lecture et ses étapes nous aborderons dans ce qui suit les effets du bilinguisme sur la lecture.

3.2.1.2. Relation entre bilinguisme et lecture

La recherche sur l'apprentissage de la lecture en L2 est bien développé et fait ressortir des constats différents selon les études. L'effet du bilinguisme sur la lecture dépend en effet de la spécificité des combinaisons linguistiques. Selon Deacon et ses collaborateurs (2013), le développement cognitif et linguistique de l'enfant bilingue est influencé positivement par l'apprentissage d'une seconde langue mais ceci dépend largement du degré de maîtrise de la L2 et de son contexte d'apprentissage. Ces mêmes auteurs soulignent que l'acquisition de la lecture dépend de la nature des codes écrits des deux langues (*ibid*). En fait, chaque langue est basée sur une représentation symbolique propre qui implique différents processus cognitifs. De ce fait, les bilingues transfèrent les compétences d'une langue à une autre, notamment le traitement orthographique, uniquement lorsque les deux langues sont écrites dans le même système (Coulmas, 1989). Sinon, chaque langue se base sur un traitement orthographique qui lui est spécifique. Geva (2006) rapporte également que les capacités de lecture en L2 sont influencées par les caractéristiques de lecture en L1 et des caractéristiques de la L2 à l'oral et à

l'écrit. Ainsi, la maîtrise d'une langue maternelle facilite l'assimilation et l'acquisition d'une seconde langue du fait que ce sont les mêmes habiletés cognitives et langagières de la L1 qui se transfèrent de la L1 à la L2. Ces capacités concernent la conscience phonémique, la rapidité du traitement de l'information et les habiletés visuelles. Selon Lallier et Carreiras (2017), les résultats de chaque étude ne sont pas généralisables aux différentes populations bilingues. Les méta-analyses qui ont été effectuées montrent des résultats contradictoires à ce sujet. Les résultats de la méta-analyse de Besse, Marec-Breton et Demont, (2010) conclut que le lexique est affecté chez les bilingues qui serait moins étendu, ce qui aurait des répercussions sur la compréhension en lecture et pourrait même compromettre l'apprentissage de la lecture (Lesaux et Siegel, 2003 ; Geva, Yaghoub et Zadeh, 2006 ; Proctor, Carlo, August et Snow, 2005 ; Droop et Verhoeven, 2003). Toutefois, d'autres travaux (Bialystok 1991, cité par Demont, 2001) rapportent que le bilinguisme serait bénéfique aux capacités métalinguistiques dont le développement constitue une condition primordiale à l'apprentissage de la lecture. L'hypothèse de Bialystock (1991) semble avoir été confortée par les travaux de Berens et ses collègues (2013). Demont (2001) rapporte également que l'enfant bilingue immergé dans un environnement linguistique complexe développe précocement ses habiletés de conversion grapho-phonémique. Une revue de la littérature de (Jasińska *et al.*, 2016) conclut également à l'avantage du bilinguisme sur le développement de la conscience phonologique comparativement aux enfants monolingues.

Sur le plan neurologique, Chee et ses collègues (2004) montrent que les sujets bilingues de bon niveau recrutent plus fortement les régions de l'insula et de l'aire de Broca au cours d'une activité impliquant les processus de mémoire phonologique. Cela expliquerait que les bilingues utilisent plus efficacement leurs circuits de mémoire phonologique.

Au Liban, peu d'études ciblent le développement de l'apprentissage de la lecture dans un milieu bilingue. Néanmoins, le département d'orthophonie à l'université Saint-Joseph à Beyrouth (ISO) a effectué plusieurs travaux de recherche sur les effets du bilinguisme. Tawk et Moarbes (2015) se sont intéressées au développement de la lecture chez les enfants libanais et ont observé que les enfants bilingues du niveau primaire obtiennent de meilleurs résultats en lecture de mots quand ils progressent dans les classes de niveau supérieur. Ces résultats convergent avec ceux de Abootaleb et Zohreh (2014) qui ont réalisé une étude auprès de 400 enfants de deuxième année de primaire.

D'une manière générale, les effets du bilinguisme ne sont pas limités à la performance en lecture mais touchent également l'ensemble des performances scolaires (Girbau et Schwartz, 2008 ; Ferrari et Palladino, 2007 ; Carlson et Meltzoff, 2008).

3.2.2. Bilinguisme et mathématique

Pour Petit (2001), les enfants bilingues présentent une capacité à résoudre les problèmes et se caractérisent par une souplesse mentale et une mobilité conceptuelle plus importantes que les enfants monolingues. Ainsi, les élèves bilingues montrent systématiquement des scores supérieurs en mathématique par rapport à leurs camarades monolingues. En fait, les capacités phonologiques, grammaticales et la capacité de calcul verbal sont gérées par la même aire cérébrale frontale, l'aire de Broca. La stimulation précoce et accrue de cette aire par l'enseignement bilingue favoriserait le développement des connexions neuronales et expliquerait les effets directs sur les potentialités en mathématiques (Izard et ses collègues, 2008).

Hartanto et Yang (2018) ont examiné les relations entre le bilinguisme et les performances en mathématiques chez de jeunes enfants âgés de 4 à 7 ans. Le sexe, l'origine ethnique, le statut socio-économique et le niveau de la langue utilisée pour l'enseignement (anglais) ont été contrôlés. Les auteurs constatent que le bilinguisme corrèle significativement avec les compétences numériques, la résolution de problèmes arithmétiques et le raisonnement mathématique et que les corrélations persistent entre la maternelle et le primaire.

Daubert et Ramani (2019) ont réalisé une étude auprès d'enfants âgés entre 4 et 5 ans (N=74) recrutés dans des écoles maternelles et provenant des familles issues de diverses origines socio-économiques, raciales et ethniques. Les participants ont effectué une tâche non verbale de mémoire de travail et des tâches d'habiletés numériques, en particulier l'identification des chiffres, l'addition, la comparaison de magnitude symbolique et les tâches de comparaison de magnitude non symbolique. Les résultats ont révélé de meilleures performances chez les enfants bilingues que leurs pairs monolingues au niveau de la mémoire de travail, même en contrôlant l'âge et le statut socio-économique (SSE). Les enfants bilingues ont également montré de meilleures performances dans les tâches d'addition et d'identification de chiffres. Pour toutes les tâches, à l'exception de l'identification des chiffres, la mémoire de travail prédit la performance des enfants sur les mesures de connaissance numérique.

3.3. Fonctions exécutives et performances scolaires

Pour de nombreux auteurs, les fonctions exécutives sont liées à la santé physique, mentale et prédisent la réussite scolaire (Morgan, Farkas, Wang, Hillemier, Oh et Maczuga, 2019 ; Guerra *et al.*, 2020). Pour Mazeau et Pouhet (2014), l'enfant est systématiquement confronté à la nouveauté à l'école du fait qu'il doit constamment traiter des stimuli qu'il sélectionne, sur lesquels il porte son attention après les avoir extraits de l'environnement. L'enfant doit accomplir également un travail conceptuel qui exige de sa part différentes tâches comme : mémoriser, faire des liens sémantiques ou analogiques, déduire, user différentes stratégies, comprendre et produire une réponse adaptée. Ainsi, les fonctions exécutives sont sollicitées dans l'ensemble des processus d'apprentissage. Selon Diamond (2009), un enfant qui commence les apprentissages scolaires avec de faibles capacités exécutives aura plus de risque de vivre des difficultés sur le plan cognitif et socioaffectif.

Par ailleurs, de nombreux travaux ont cherché l'impact des fonctions exécutives sur le langage écrit (Yeniad *et al.*, 2013). Le lien entre fonctions exécutives et conversion lettres-sons a été notamment mis en avant (De Jong, 2006). De plus, les fonctions exécutives faciliteraient la compréhension sémantico-syntaxique des phrases (Meltzer et Bagnato, 2010). Welsh *et al.* (2010) rapportent des corrélations positives et significatives entre le fonctionnement exécutif et les stratégies de lecture. Ribner et ses collaborateurs (2017) indiquent que les fonctions exécutives sont des prédicteurs uniques de réussite en mathématiques et en lecture et peuvent également compenser les faibles niveaux de compétences académiques en maternelle. Une étude récente précise que les capacités de mémoire de travail, de contrôle inhibiteur et de flexibilité cognitive sont toutes prédictives des résultats scolaires en lecture, en sciences et en mathématiques (Morgan *et al.*, 2019).

La figure (8) illustre le rôle des fonctions exécutives dans l'apprentissage scolaire et les comportements.

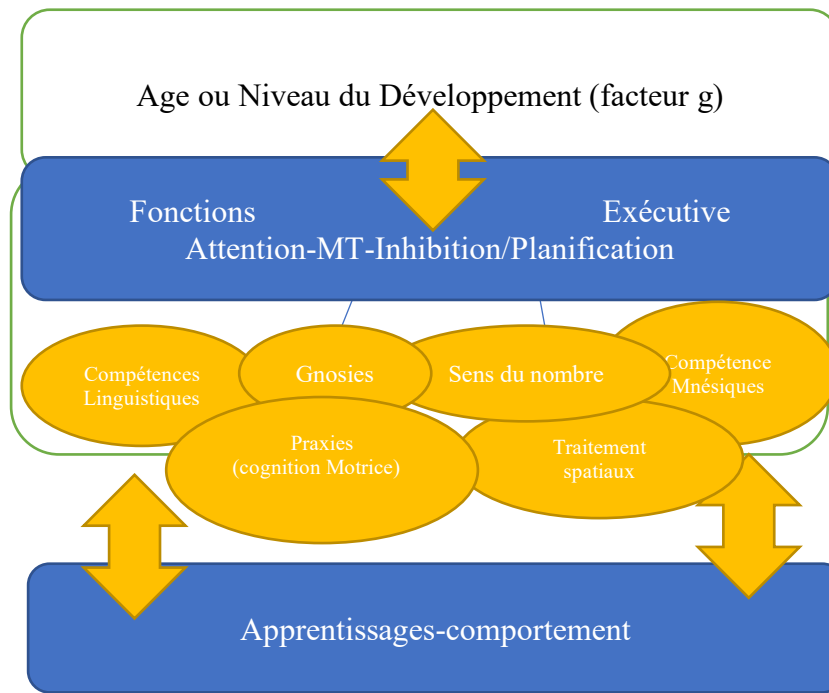


Figure 8: le rôle intégrateur des fonctions exécutives (Mazeau et Pouhet, 2016)

3.3.1. Fonctions exécutives et capacités de lecture

De nombreuses études ont été conduites pour analyser les liens entre la lecture et les fonctions exécutives (Swanson, Zheng et Jerman, 2009 ; Booth, Boyle et Kelly, 2010 ; Carretti, Borella, Cornoldi et De Beni, 2009 ; Yeniad, Malda, Mesman, van IJzendoorn et Pieper, 2013). Boulc'h et ses collaborateurs (2007), ont adopté la tâche de paradigme de CI développé auprès d'adultes par Prinzmetal *et al.*, (2002) et Treisman *et al.*, (2002), puis reprise chez les enfants par Ballaz *et al.*, (1999). Cette tâche a été administrée seule ou en même temps qu'une deuxième tâche de mise à jour ou d'alternance. Les résultats mettent en avant des liens entre le langage écrit et les tâches des fonctions exécutives (d'alternance et de mise à jour) et montrent que les procédures d'identification et de décodage des mots écrits impliquent fortement les fonctions exécutives. En fait, l'ajout d'une tâche de contrôle exécutif, de haut niveau et tardive, à une tâche de sélection pure, de bas niveau et précoce, a provoqué une augmentation des temps de réponse d'enfants scolarisés en CE2 avec des difficultés de lecture. Cirino *et al.* (2018) montrent également que les fonctions exécutives permettent le décodage des mots, la fluence et la compréhension de la lecture. Des relations longitudinales bidirectionnelles ont en effet été rapportées entre les fonctions exécutives et le développement de la compréhension de texte

chez des élèves du cycle primaire (Meltzer et Bagnato, 2010 ; Meixner *et al.*, 2019). Par ailleurs, les capacités d'inhibition, de flexibilité cognitive et de mémoire de travail jouent un rôle dans les processus de lecture et notamment la compréhension à l'écrit (Haft *et al.*, 2019 ; Hung, 2021 ; Meiri *et al.*, 2019, Peng *et al.*, 2018). En fait, la lecture d'un texte contient souvent diverses sources d'informations non pertinentes et le lecteur, pour éviter de surcharger la capacité de sa mémoire, ne doit retenir que les informations importantes et mettre de côté les informations non pertinentes ou qui ne le sont plus. Les informations non pertinentes peuvent nuire au maintien des informations pertinentes et donc à leur intégration, ainsi qu'à la compréhension et à la mémorisation du texte. Il a donc été proposé que les difficultés de compréhension peuvent être attribuées à des mécanismes inhibiteurs inefficaces (Carretti, Borella, Cornoldi et De Beni, 2009 ; Borella *et al.*, 2010).

Concernant la mémoire de travail, plusieurs auteurs mettent en évidence une relation positive entre celle-ci et les habiletés de lecture (Engel de Abreu et Gathercole, 2012 ; Majerus et Poncelet, 2017) notamment dans la compréhension (Cain, Oakhill et Bryant, 2004) ; Sesma, Mahone, Levine, Eason et Cutting, 2009). Cain et ses collègues (2004) rapportent que « les capacités en mémoire de travail d'enfants de 9 et 10 ans prédisent leur capacité à inférer le sens d'un mot inconnu à partir d'indices textuels, principalement lorsque la distance entre ces indices et le mot est importante, augmentant d'autant la charge en mémoire de travail ». Engel de Abreu *et al.*, (2014) soulignent le rôle prédictif de la mémoire de travail dans les habiletés de lecture chez les enfants âgés de 6 à 8 ans. Un lien étroit est rapporté entre la mémoire de travail, la vitesse de la lecture (Berninger *et al.* 2010 ; Kibby *et al.* 2014), la compréhension écrite (Engel de Abreu, 2012) et l'orthographe (Geva et Siegel, 2000). Par ailleurs, Mazeau et Pouhet (2016) révèlent l'importance de la mémoire de travail dans l'analyse phonologique (procédure d'assemblage) et dans la compréhension de phrase et de textes. Récemment, Majerus (2017) montre que le niveau de connaissances lexicales, l'apprentissage d'un nouveau vocabulaire, l'apprentissage de la lecture sont mieux prédits par des tâches de mémoire de travail qui maximisent la rétention de l'ordre sériel.

La capacité de lecture est également associée à la flexibilité cognitive (Altemeier *et al.*, 2008 ; Welsh *et al.*, 2010 ; Cartwright, 2012 ; Yeniad, Nesman, Malda, et Van IJzendoorn, 2013 ; Colé, Duncan, et Blaye, 2014 ; Lubin *et al.*, 2016). Il semble que la flexibilité cognitive joue aussi un rôle essentiel dans le décodage des informations et la compréhension en lecture (Engel de Abreu *et al.*, 2014). Pour Lubin et ses collaborateurs (2016), la flexibilité cognitive

assure l'alternance entre le traitement des codes phonologiques pour la reconnaissance des mots écrits et les informations sémantiques pour la compréhension du texte (Cartwright, 2002). Dans le même ordre d'idées, Van der Sluis et ses collaborateurs (2007) rapportent que la flexibilité cognitive est positivement liée à l'efficacité de la lecture des mots chez les enfants néerlandais de 9 à 12 ans. Quant à Alteimer (2008), les difficultés de la flexibilité cognitive affectent les procédures d'identification des mots et le passage de la lecture globale à une lecture par déchiffrement. L'enfant éprouve également de difficultés à passer d'un graphème (lettre) à un autre et à supprimer les informations non pertinentes afin de sélectionner les bonnes informations rapidement. Alteimer et ses collègues (2008) ont mis en avant uniquement le rôle de la flexibilité dans les compétences en orthographe chez les élèves de quatrième année. Welsh et ses collègues (2010) ont constaté que les capacités de flexibilité cognitive des enfants d'âge préscolaire prédisent leurs capacités de décodage et de reconnaissance des mots à la fin de la maternelle. Engel de Abreu et ses collaborateurs (2014) ont conduit une étude sur 106 enfants brésiliens de 6 à 8 ans issus de différents milieux sociaux, dont environ la moitié vivait sous le seuil de pauvreté. Plusieurs variables ont été contrôlées telles que l'âge, le sexe, le type d'école, le lieu de résidence et le statut socio-économique. Les enfants ont accompli une batterie de 12 tâches de fonctions exécutives qui évaluent la flexibilité cognitive, la mémoire de travail, l'inhibition et l'attention sélective. Les résultats montrent que la mémoire de travail et la flexibilité cognitive constituent le meilleur prédicteur de la performance en lecture. D'autres études ne rapportent toutefois aucun lien entre la lecture et ces deux composantes (Mayes *et al.*, 2009 ; McLean et Heatch, 1999).

Concernant la fonction d'inhibition, certains travaux ont contesté le rôle de cette composante dans la lecture (Lubin *et al.*, 2016 ; Borella, Caretti et Pelegrina, 2010 ; Nouwens, Groen et Verhoeven, 2016). Mais la majorité de ces études ont comparé des enfants témoins à d'autres ayant des difficultés de lecture (Borella *et al.*, 2010 ; Van der Sluis *et al.*, 2004). Selon Lubin et ses collègues (2016), les différences entre les enfants en difficultés et les enfants au développement typique n'impliquent pas nécessairement une corrélation entre les compétences chez les enfants au développement typique. Toutefois, peu d'études partagent leur approche corrélationnelle en évaluant des enfants qui ne présentent aucun trouble particulier et, sur ce point, elles obtiennent des résultats divergents (Kieffer *et al.*, 2013 ; Nouwens *et al.*, 2017). Par ailleurs, de nombreux travaux montrent l'implication de l'inhibition dans la lecture (Kieffer *et al.*, 2013 ; Von Suchodoletz *et al.*, 2017 ; Daucourt *et al.*, 2018). Cette fonction est impliquée dans la discrimination des lettres (Blair et Razza, 2007) et dans les accords sujets/verbes

(Houdé, 2016). Kieffer et ses collaborateurs (2013) indiquent le rôle de l'inhibition dans la compréhension de la lecture chez des enfants de 10 ans. Pour d'autres, les difficultés de compréhension chez les mauvais lecteurs sont liées à des déficits d'inhibition (Borella *et al.*, 2010). Néanmoins, Nouwens *et al.* (2016) trouvent que la flexibilité et la mémoire de travail sont uniquement impliquées dans la compréhension de la lecture chez des enfants de 10 et 11 ans mais pas l'inhibition. Enfin, des travaux mettent en avant le rôle de la sélection attentionnelle et de l'inhibition des stimuli non pertinents dans le processus de lecture (Mazeau et Pouhet, 2016). Les mécanismes efficaces de contrôle attentionnel sont indispensables afin de balayer le point d'attention sur les lettres d'un texte, tout en inhibant le traitement de concurrents phonologiques ou orthographiques proches, et en passant avec souplesse d'une ligne à l'autre (Lan *et al.*, 2011 ; Franceschini *et al.*, 2012 ; Grainger, Dufau et Ziegler, 2016). Selon Casco et ses collaborateurs (1998), les enfants de 11-12 ans ayant de faibles performances sur une tâche d'attention sélective obtiennent également des scores significativement plus faibles sur la fluidité de lecture que les enfants ayant les capacités d'attention sélective plus élevées. Toutefois, Steele et ses collègues (2012) n'ont pas trouvé de relation entre la capacité à sélectionner, à maintenir l'attention et la reconnaissance des mots.

3.3.2. Fonctions exécutives et capacités en mathématiques

Des liens ont été également rapportés entre les fonctions exécutives et les capacités en mathématiques telles que la numératie (Kroesbergen *et al.*, 2009), la résolution de problèmes (Moriguchi, Chevalier et Zelazo, 2016), la catégorisation (*ibid*) et les compétences en arithmétiques et en raisonnement mathématiques (Schmitt, Pratt et McClelland, 2014 ; Vernon-Feagans, 2015 ; Meiri *et al.*, 2019). En fait, l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité prédisent conjointement ou indépendamment les performances mathématiques à différents niveaux d'âges (Viterbori *et al.*, 2015 ; Schmitt, Purpura, Geldhof, et Duncan, 2017 ; Mazeau *et al.*, 2021).

D'une manière générale, l'inhibition constituerait un prédicteur important des habiletés mathématiques (Clark *et al.* 2014 ; Surmont *et al.*, 2016). Cette composante semble jouer un rôle essentiel dans la mise en correspondance entre les nombres non symboliques et symboliques (Fuhs et McNeil, 2013 ; Leibovich et Ansari, 2016), dans l'apprentissage de faits arithmétiques (Megías et Macizo, 2015) et dans la résolution de problèmes arithmétiques

verbaux (Passolunghi et Siegel 2001 ; Lubin, Vidal, Lanoë, Houdé et Borst, 2013). Houdé et ses collaborateurs (2018) identifient chez les enfants de CM1 et CM2 plusieurs confusions lors des tâches de résolution d'un problème arithmétique simple. Ces confusions sont liées à des difficultés à inhiber les « heuristiques scolaires ». Les erreurs rencontrées sont souvent dues à une piège linguistique liée à la consigne et non pas à un défaut de raisonnement (Houdé *et al.*, 2018). La cause est essentiellement liée à un défaut d'inhibition du mot par exemple « plus » dans la consigne à laquelle l'élève associe souvent le mécanisme de l'addition. Ces auteurs ajoutent que l'inhibition des heuristiques permet l'accès à des stratégies plus efficaces : « les algorithmes ». Toutefois, cette défaillance dans l'inhibition ne constitue pas la source unique des difficultés vu la complexité de l'activité de résolution des problèmes à énoncés verbaux qui engage aussi d'autres processus tels que la compréhension en lecture, le raisonnement conceptuel et la résolution d'opérations. Ces tâches sont sensibles également aux capacités de la mémoire de travail. Rappelons que l'inhibition soutient la mémoire de travail en l'empêchant d'être surchargée par des informations non pertinentes. Dans cette perspective, Lubin *et al.*, (2016) ont mené une recherche auprès de 71 enfants de primaire évalués sur leur capacité de mémoire de travail, d'inhibition et de flexibilité cognitive ainsi que sur des compétences scolaires (mathématiques, lecture et orthographe). Les résultats confirment l'implication et la contribution des composantes exécutives sur les différents domaines scolaires et que la mémoire de travail et l'inhibition sont plus particulièrement impliquées en mathématiques.

D'autres travaux confirment également un lien étroit entre la mémoire de travail et les performances en mathématiques (Commodari et Di Blasi, 2014 ; Surmont *et al.*, 2016), notamment en arithmétique (Von Aster et Shalev, 2007 ; Raghubar, Barnes et Hecht, 2010, Mazeau et Pouhet, 2016), en calcul mental (Gathercole, Willis, Emslie et Baddeley, 1992 ; Fung et Swanson, 2017) et comptage verbal (Geary, Hoard, Nugent et Bailey, 2012 ; Noël, 2009). Des liens significatifs sont également confirmés entre la capacité de la boucle phonologique de la mémoire de travail et les performances en mathématiques (Jarvis et Gathercole, 2003 ; Holmes et Adams, 2006 ; Holmes, Adams et Hamilton, 2008). De plus, Bull et ses collègues (2008) précisent que la mémoire de travail verbale est un prédicteur significatif des résultats en mathématiques chez les enfants d'âge préscolaire, ce qui suggère à nouveau que la mémoire de travail verbale semble être générique à l'apprentissage plutôt que spécifique à l'apprentissage dans un domaine particulier. Cette relation apparaît particulièrement dans des tâches comme la résolution de problèmes à énoncés verbaux. Par ailleurs, d'autres recherches mettent en avant le rôle de la mémoire de travail visuel et spatiale dans les premières aptitudes mathématiques

des enfants (Rasmussen et Bisanz, 2005 ; Holmes et Adams, 2006 ; Holmes *et al.*, 2008). Tout au long de la scolarité, il est souvent rapporté que les scores en mémoire de travail visuo-spatiale sont corrélés significativement avec les performances en mathématiques (Gathercole et Pickering, 2000 ; Holmes *et al.*, 2008), 9 et 10 ans (Homes *et al.*, 2008), 11 et 14 ans (Jarvis et Gathercole, 2003).

Par ailleurs, des études récentes révèlent l'importance de la flexibilité cognitive dans la performance en mathématiques (Gros, Sander et Thibaut, 2019 ; Gros *et al.*, 2020 ; Vicente, Orrantia et Verschaffel, 2007) et dans la réalisation de tâches académiques complexes nécessitant l'alternance entre différents aspects de problèmes ou de stratégies arithmétiques (Mayes, Calhoun, Bixler et Zimmerman, 2009 ; Agostino, Johnson et Pascual-Leone, 2010 ; Clark, Pritchard et Woodward, 2010 ; Bargue, 2013). Pour Cragg et Gilmore (2014), la flexibilité permet d'alterner avec succès entre les stratégies de solution et les notations (entre les chiffres verbaux, les chiffres arabes et les représentations non symboliques des quantités) et entre les différentes procédures (addition/soustraction) nécessaires pour résoudre des problèmes complexes. La résolution de problème dépend largement de la capacité de catégorisation chez l'enfant. Toutefois, catégoriser d'une façon flexible en fonction d'une perspective plus abstraite, sans tenir compte de son interprétation initiale est une étape essentielle de la résolution de problèmes (Brissiaud et Sander, 2010 ; Ragni, Kola et Johnson-Laird, 2018). De plus le recodage sémantique et la recatégorisation de la situation sont les processus cognitifs centraux qui sous-tendent les stratégies flexibles (Clerc et Clément, 2016 ; Thibaut et Sander, 2020 ; Clément, 2000, 2021 ; Gros, Gvozdic, 2022). Ajoutons également que pour trouver la solution d'un problème, il faut l'envisager sous des angles différents afin d'en identifier la structure profonde (Clément, 2009 ; Gros *et al.*, 2020). Toutefois, d'autres études ont nié cette association (Espy, McDiarmid, Cwik, Stalets, Hamby et Senn, 2004 ; Ng et Lee, 2009 ; Monette, Bigras et Guay, 2011).

En conclusion, nombreux sont les travaux révélant l'implication des fonctions exécutives dans les apprentissages scolaires, notamment en lecture et en mathématiques. Toutefois, les processus exécutifs peuvent être altérés dans certains troubles du neuro-développement, tels que les troubles spécifiques des apprentissages. De ce fait, il nous semble judicieux d'aborder les travaux effectués sur les liens entre les fonctions exécutives et les difficultés spécifiques des apprentissages plus particulièrement la dyslexie et la dyscalculie.

3.4. Fonctions exécutives et troubles spécifiques des apprentissages

3.4.1. Les troubles spécifiques des apprentissages

D'après l'American Psychiatric Association (APA, 2013), les troubles spécifiques des apprentissages (TSA) sont des troubles neuro-développementaux qui se manifestent par des difficultés persistantes à apprendre des compétences scolaires ou académiques de base. Ces difficultés peuvent affecter la lecture correcte et fluide de mots, la compréhension de la lecture, l'expression écrite, l'orthographe, le calcul arithmétique, et/ou le raisonnement mathématique. Les symptômes apparaissent pendant la période développementale et persistent dans le temps malgré les adaptations sur le plan scolaire et les interventions mises en œuvre (Petiniot, 2016). Généralement, les difficultés se manifestent dès les premières années scolaires mais peuvent également apparaître plus tard dans la scolarité dès que les exigences académiques dépassent les capacités limitées de l'élève (APA, 2013). Selon le DSM-V (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th Edition, 2013), une nouvelle distribution nosographique des troubles des apprentissages est proposée en regroupant tous les troubles de la lecture, du calcul et de l'expression écrite dans la même catégorie des troubles neuro-développementaux. Les symptômes « troubles » sont remplacés par le terme « difficultés » et ils sont nommés spécifiques parce que les troubles apparaissent dans un cadre précis, après avoir éliminé le déficit intellectuel, le retard de développement global, le trouble neurologique, moteur ou sensoriel (e.g. de la vision ou de l'audition), un trouble psychoaffectif (e.g. anxiété, dépression). Il ne résulte pas non plus d'un manque d'opportunité d'apprentissage, d'un enseignement inadapté, d'une situation économique ou environnementale défavorisée, d'un absentéisme chronique ou d'un manque de motivation (APA, 2013). Ces troubles concernent 5 à 15% des enfants d'âge scolaire et toucheraient plus fréquemment les hommes que les femmes avec un sexe-ratio allant de 2/1 à 3/4 (APA, 2013).

3.4.1.1. La dyslexie

La dyslexie constitue la forme la plus fréquente des TSA, ou tout au moins celle qui est la plus fréquemment repérée. Pour Valdois (2010), la dyslexie correspond à un développement atypique des procédures de lecture et une atteinte de la vitesse de lecture, ce qui engendre des difficultés de compréhension écrite. Le déficit spécifique de l'acquisition de la lecture est caractérisé par un écart significatif d'au moins 18 mois entre l'âge chronologique et l'âge de

lecture de l'enfant évalué par le biais d'un test normé (Poulet, 2012). Il est important de préciser que les performances en lecture sont significativement inférieures à celles attendues compte-tenu de l'âge de l'individu, mais sont également bien en-dessous de son niveau intellectuel global. Les difficultés liées à la dyslexie persistent malgré les remédiations proposées et se maintiennent à l'âge adulte. Cependant, des stratégies peuvent venir compenser et masquer le trouble.

Plusieurs types de dyslexies développementales existent selon le dysfonctionnement du processus de lecture impliqué dans le trouble. Ainsi, la dyslexie phonologique est distinguée de la dyslexie de surface. La dyslexie *phonologique* est caractérisée par des difficultés dans la mise en place de la reconnaissance visuelle de mots, mais avec un déficit plus marqué encore sur la procédure phonologique. Ainsi, l'élève présente des difficultés importantes en lecture de non-mots, alors que ses performances sont relativement bonnes en lecture de mots réguliers ou irréguliers. Quant à la *dyslexie lexicale ou de surface*, elle présente un déficit plus marqué sur la procédure orthographique, et donc dans la reconnaissance visuelle des mots. La dyslexie lexicale se caractérise par des difficultés à lire des mots irréguliers alors que la lecture des mots réguliers et celle des non-mots est relativement préservée. Dans le DSM-V, la notion de typologie des dyslexies est dépassée puisqu'il considère tous les enfants avec les mêmes difficultés mais à des degrés différents dans un domaine ou dans un autre.

Parmi les théories explicatives de la dyslexie, l'hypothèse du déficit phonologique prédomine. D'après celle-ci, les personnes dyslexiques présentent un déficit du traitement phonologique, avec particulièrement une altération de la mémoire à court terme verbale, de la conscience phonologique et de la dénomination verbale rapide (Therrien, 2021). Par exemple, Denckla et Rudel (1976) montrent que les capacités de dénomination verbale, mesurant le temps d'accès lexical, sont altérées dans la dyslexie, et représentent un bon prédicteur du niveau de lecture de ces enfants. Cependant, une hypothèse plus récente considère les fonctions exécutives comme facteur contribuant à la dyslexie (Altemeier *et al.*, 2008 ; Pasqualotto et Venuti, 2020 ; Swanson et Ashbaker, 2000 ; Swanson et Howell, 2001). D'après ces auteurs, la dyslexie est liée à des déficits exécutifs qui expliqueraient les difficultés phonologiques ou visuo-motrices rencontrées par les individus dyslexiques.

3.4.1.2. La dyscalculie

La dyscalculie est un trouble du traitement des nombres et du calcul qui se caractérise par des performances en numération et en calcul significativement inférieures à celles qui sont attendues pour l'âge, le niveau scolaire et le niveau intellectuel de l'enfant (Mazeau et Pouhet, 2016, 372). La dyscalculie peut être associée à une dysgraphie, une dyspraxie ou une dyslexie. Le sujet de comorbidité entre la dyslexie et la dyscalculie a été largement débattue durant la dernière décennie pour arriver enfin à un consensus selon lequel les deux troubles sont de nature différente mais qu'ils peuvent coexister dans le sens de l'additivité (Raddatz, Kuhn, Holling, Moll, et Dobel, 2017). Les deux types de troubles ne présentent pas de liens directs de causalité entre eux, même si les difficultés de lecture peuvent engendrer certaines difficultés dans les habiletés numériques verbales (De Clercq-Quaegebeur *et al.*, 2017 ; Vilette et Schneider, 2011).

Le DSM-5 recommande de chercher dans la dyscalculie des difficultés à maîtriser le sens des nombres (compréhension médiocre des nombres), à manipuler les chiffres (énumération, comptage) ou à réaliser des calculs exacts (opérations arithmétiques) ou approximatifs (ordre de grandeur). Ces symptômes doivent être présents depuis au moins 6 mois et persistent malgré la mise en place de mesures/interventions (ré)éducatives ciblant les difficultés.

3.4.2. Déficit des fonctions exécutives dans le cadre des troubles spécifiques des apprentissages

De nombreux travaux ont mis l'accent sur des déficits des fonctions exécutives chez les enfants ayant des difficultés d'apprentissage (Pham et Hasson, 2014 ; Colè, Duncan et Blaye, 2014 ; Morgan *et al.*, 2016). Ces résultats ont été retrouvés auprès d'enfants ayant des troubles de l'expression écrite (Helland et Asbjørnsen, 2000 ; Hooper *et al.*, 2002), des troubles en mathématiques (Schuchardt *et al.*, 2008 ; Van der Sluis *et al.*, 2004), des troubles de la lecture (Jeffries et Everatt, 2004 ; Alloway, Willis et Adams, 2005 ; Gathercole, Alloway, Willis et Adams, 2006), et des troubles de la compréhension écrite (Locascio *et al.*, 2010). Plus précisément, il semble que les enfants dyscalculiques présentent des déficits de la mémoire de travail visuo-spatiale (Schuchardt *et al.*, 2008) et du contrôle inhibiteur, particulièrement dans des tâches d'inhibition de graphiques et de nombres (Wang *et al.*, 2012). Les capacités de flexibilité cognitive sont également affectées au sein de cette population (Van der Sluis *et al.*,

2004). En outre, des déficits des capacités de la mémoire de travail, d'inhibition et de planification sont rencontrées chez les enfants atteints des troubles de la compréhension écrite (Cain 2006 ; Locascio *et al.*, 2010). Par ailleurs, les enfants ayant un TSA concernant à la fois la lecture et les mathématiques présentent aussi des difficultés exécutives dans les capacités d'inhibition, de flexibilité et de mémoire de travail verbale et visuo-spatiale (Crisci *et al.*, 2021 ; Landerl, 2009 ; Van der Sluis *et al.*, 2004). Certains auteurs mettent l'accent sur un déficit du contrôle inhibiteur chez les enfants dyslexiques et dyscalculiques (Van der Sluis *et al.*, 2007).

Au final, l'ensemble des travaux tend à démontrer que les enfants ayant un TSA rencontrent aussi des difficultés exécutives, en particulier chez les individus dyslexiques et dyscalculiques. Toutefois, les relations entre les fonctions exécutives et la dyslexie ou la dyscalculie restent encore peu étudiées, tout au moins dans une visée rééducative.

3.4.2.1 Fonctions exécutives et dyslexie

L'existence des difficultés exécutives chez les personnes dyslexiques a été recherchée dans de nombreuses études, toutefois la littérature n'est à ce jour pas encore parvenue à un consensus clair sur le sujet. Pour Ramus (2004), environ la moitié des dyslexies sont associées à un autre trouble cognitif. D'autres travaux soulignent l'existence de plus faibles capacités de mémoire de travail chez les enfants dyslexiques en comparaison avec des enfants tout-venants du même âge (Carretti *et al.*, 2009 ; Landerl, 2009 ; Marzocchi *et al.*, 2008 ; Schuchardt *et al.*, 2008 ; Varvara *et al.*, 2014). Certains chercheurs proposent que les difficultés de mémoire de travail sont à l'origine des difficultés de lecture et de compréhension du matériel lu (Carretti *et al.*, 2009). Cependant, des doutes persistent sur le fait de savoir si seule la mémoire de travail verbale est défaillante dans la dyslexie ou si la mémoire de travail visuo-spatiale l'est également. A ce sujet, plusieurs travaux mettent en évidence des performances inférieures dans des tâches de mémoire de travail visuo-spatiale chez les personnes dyslexiques par rapport au groupe contrôle mais il semblerait que cette différence soit plus petite que celle retrouvée dans des tâches de mémoire de travail verbale (Peng *et al.*, 2018 ; Rousselle et Abadie, 2021 ; Swanson *et al.*, 2009).

De nombreuses études rapportent également un dysfonctionnement dans les composantes d'inhibition et de flexibilité mentale dans la dyslexie (Alteimer et *al.*, 2008 ; Menghini *et al.*, 2010 ; Smith-Spark *et al.*, 2016 ; Meri *et al.*, 2019). Alteimer, Abbott et Berninger (2008) ont suivis durant plusieurs années (entre le CP et le CM2) l'évolution des fonctions exécutives sur deux groupes d'enfants (typiques et dyslexiques). Les analyses longitudinales révèlent une corrélation significative entre les capacités d'inhibition et de flexibilité et les habiletés en lecture et en orthographe chez les enfants typiques. En revanche, pas de corrélation retrouvée chez les enfants avec une dyslexie ; tout se passe comme s'ils ne pouvaient pas engager leurs fonctions exécutives pour lire et écrire comme le font les enfants typiques. Menghini *et al.*, (2010) ont également confirmé le rôle de l'inhibition et de la flexibilité dans le développement de la dyslexie. L'atteinte de ces deux composantes pourrait même constituer un obstacle à la compensation des troubles et à l'acquisition des nouveaux apprentissages (Thibault et Pitrou, 2012).

Certains travaux ont mis plus particulièrement l'accent sur le rôle spécifique de l'inhibition dont le déficit impacterait à la fois les capacités en lecture et les capacités arithmétiques (Houdé, Rossi, Lubin, et Joliot, 2010 ; Borella *et al.*, 2010 ; Wang *et al.*, 2012). Le déficit de l'inhibition est relié à de faibles performances lors du passage d'une lecture globale du mot à un décodage grapho-phonologique (Brosnan, 2002 et Menghini, 2010). La composante d'inhibition renforce le traitement des informations phonologiques et le traitement alphabétique indispensables lors de la lecture. De plus, selon Reiter, Tucha et Lange (2005), les enfants ayant des troubles spécifiques du langage écrit (TSLE) sont plus lents dans le traitement des couleurs et la lecture des mots et dans les conditions d'inhibition au cours du test de Stroop (Stroop, 1935). Wang *et al.* (2012) montrent un déficit d'inhibition chez les enfants dyslexiques uniquement sur les tâches impliquant du matériel verbal. A ce propos, la méta-analyse de Booth *et al.* (2010) montre que les déficits d'inhibition au sein de cette population sont significativement plus importants dans les tâches exigeant une réponse verbale comparativement aux tâches non verbales. Récemment, selon Van Reybroeck et De Rom (2020), le déficit inhibiteur au sein de cette population est spécifique au domaine de la lecture. En fait, ces chercheurs observent des performances inhibitrices défaillantes chez les enfants dyslexiques uniquement sur les tâches faisant appel à la lecture. Toutefois, des doutes persistent toujours sur la nature du déficit inhibiteur dans la dyslexie.

La capacité de dénomination rapide et automatique constitue également un facteur prédictif et significatif des compétences en lecture (Plaza et Raynaud 2007 ; Castel 2008 ; O'Connor et Jerkins, 1999, cités par Ecalte et Magnan, 2010 ; Meyer *et al.*, 1998). Dans le cas de la dyslexie, cette lenteur est justifiée par les difficultés d'automatisation de l'alternance entre l'activation d'une information et l'inhibition d'une autre (Casalis, Leloup et Parriaud, 2013). Les sujets dyslexiques ont tendance à avancer des réponses automatiques mettant en avant un déficit de mise en place de ces stratégies exécutives. En fait, l'automatisation joue ainsi un rôle important dans l'inhibition de l'information non pertinente afin de sélectionner la plus pertinente (Alteimer, 2008). L'accès à la lecture fonctionnelle solliciterait ainsi fortement ces processus d'automatisation et d'inhibition. Ainsi, le déficit au niveau de ces fonctions chez un enfant présentant des difficultés dans l'apprentissage de la lecture constitue un handicap supplémentaire à la compensation de son trouble et à l'acquisition des nouveaux apprentissages (Thibault et Pitrou, 2012). Il semble également que la rapidité de traitement d'une information est associée à la dyslexie (Casalis, Leloup et Parriaud, 2013).

Au cours de la lecture d'un texte, le passage souple, rapide et efficace de la procédure d'assemblage à la procédure d'adressage nécessite une bonne flexibilité cognitive (Menghini *et al.*, 2010 ; Mazeau et Pouhet, 2016). Pour Helland et Asbjørnsen, (2000), le déficit au niveau de la flexibilité serait en revanche d'autant plus fort que les enfants présentent des troubles du langage réceptif. Récemment, Barbosa et ses collègues (2019) ont relevé des déficits de flexibilité cognitive, d'attention sélective, d'inhibition et de mémoire de travail verbale chez les enfants dyslexiques. Ces mêmes déficits exécutifs ont été mis en évidence dans le travail de Reiter *et al.* (2005) mais uniquement sur les tâches les plus exigeantes cognitivement. Concernant les tâches les plus simples, aucune différence n'a été soulevée entre les individus dyslexiques et les tout-venants. Enfin, Akyurek et Bumin (2019) ont évalué les fonctions exécutives d'enfants dyslexiques à travers de mesures qualitatives, et concluent aussi la présence des déficits exécutifs chez cette population.

Les relations entre fonctions exécutives et dyslexie chez les enfants bilingues ont été très peu explorées. A notre connaissance, deux études ont analysé spécifiquement ces relations (Jalali-Moghadam et Kormi-Nouri, 2015 ; Kechichian, 2021). Jalali-Moghadam et Kormi-Nouri (2015) ont comparé des enfants suédois (n=102) et irano-suédois (n=88) répartis dans quatre groupes : 41 bilingues avec troubles de lecture, 45 monolingues avec troubles de lecture, 45 bilingues normo-lecteurs et 59 monolingues normo-lecteurs. Les évaluations principales ont

porté sur le contrôle attentionnel, l'inhibition, la planification et la mémoire de travail. Le résultat majeur est que la vitesse des réponses diminue considérablement chez les enfants avec dyslexie et que cette diminution est significativement plus importante chez les enfants bilingues que chez les monolingues. L'ensemble des résultats suggère que le bilinguisme est profitable au fonctionnement exécutif chez les normaux-lecteurs mais qu'il est délétère chez les lecteurs en difficulté d'apprentissage. Soulignons ici qu'une recherche de Alahmadi (2017) a permis d'identifier un neuro-marqueur associé à un ralentissement des temps de réponse dans une tâche d'inhibition motrice (test *Go/No-Go*). Durant la réalisation de cette tâche proposée à des enfants typiques et à des enfants avec troubles du langage écrit, un électro-encéphalogramme (ECG) enregistrait l'activité cérébrale en plus des temps de réponse et des erreurs d'omissions. Les résultats comportementaux révèlent des réactions plus lentes avec des erreurs d'omissions plus nombreuses chez les enfants avec troubles du langage écrit. Les résultats de l'ECG indiquent quant à eux un pattern d'activation neuronal différent durant la phase d'inhibition chez les enfants avec troubles du langage écrit, notamment au niveau de la zone frontale (amplitudes de la P3d). Selon Alahmadi, cette différenciation neuronale associée à un déficit du contrôle inhibiteur chez les enfants avec troubles du langage écrit résulterait d'un retard de maturation du cortex frontal.

L'étude de Kechichian (2020) a été conduite auprès d'enfants libanais bilingues âgés de 7 à 10 ans, soit typiques, soit avec troubles spécifiques du langage écrit (TSLE). Les résultats montrent que toutes les fonctions exécutives (inhibition, flexibilité, planification et mémoire de travail) sont plus efficaces chez les enfants typiques que chez les enfants TSLE quel que soit le niveau d'âge ou scolaire (CE1, CE2 et CM1). Les enfants TSLE sont également plus lents dans les épreuves de flexibilité et de planification et dans les épreuves orthographiques. De plus, la comparaison des performances aux épreuves écrites dans les deux langues (français/arabe) indique que le fonctionnement exécutif impacte davantage les performances en arabe que celles en français. En fait, malgré une majorité d'enfants arabophones, leur première langue (le libanais dialectal) est différente de l'arabe littéral alors l'implication des fonctions exécutives serait plus importante dans le cadre de l'orthographe arabe (Kechichian, 2020). L'auteure suggère également l'exposition à la langue française en modalité écrite est plus importante que celle de l'arabe, ce qui faciliterait l'accès aux mots et augmenterait la vitesse de traitement en français avec un moindre effort cognitif.

3.4.2.2 Fonctions exécutives et dyscalculie

Plusieurs travaux ont mis l'accent sur les déficits de la mémoire de travail chez les enfants ayant des difficultés en arithmétique (Bull, Johnston et Roy, 1999 ; Bull et Scerif, 2001 ; Gathercole et Pickering, 2000 ; Geary, Hoard et Hamson, 1999 ; Toll *et al.*, 2010). Pour Morgan et ses collaborateurs (2016), les jeunes enfants de maternelle ayant une très faible capacité de mémoire de travail et une flexibilité cognitive déficiente sont fortement susceptibles de rencontrer des difficultés en lecture et en mathématiques. Ces déficits de la mémoire de travail et de la flexibilité engendrent des difficultés au niveau du comptage, de la récupération arithmétique (Geary, Hoard, Nugent et Bailey, 2012 ; Noël, 2009) et de la résolution de problèmes (Andersson, 2008 ; Swanson, Jerman et Zheng, 2008). Cependant, la question est de savoir si c'est le déficit au niveau de la mémoire de travail ou le déficit de la flexibilité cognitive qui doit être mis en avant dans les interventions précoces ? La réponse à apporter n'est pas claire en raison du manque d'études qui ont examiné simultanément les deux types de déficit (mémoire de travail et flexibilité) pour expliquer les difficultés d'apprentissages chez les enfants (Jacob et Parkinson, 2015).

Par ailleurs, d'autres études ont mis en avant les difficultés au niveau de l'inhibition (Bull et Scerif, 2001 ; Van der Sluis, John et van der Leij, 2004 ; Wang *et al.*, 2012). En effet, Wang et ses collaborateurs (2012) ont mené une étude en comparant les capacités d'inhibition cognitive d'étudiants dyslexiques, dyscalculiques et contrôles. Les auteurs ont choisi 45 étudiants dyslexiques, 45 étudiants dyscalculiques et 45 étudiants témoins appariés en termes d'âge, de sexe et de QI. Six tâches d'inhibition cognitive ont été restructurées lors de l'analyse en composantes principales en trois catégories : inhibition des graphiques, inhibition des nombres et inhibition des mots. Les comparaisons entre les trois groupes d'élèves ont révélé qu'en ce qui concerne l'inhibition des graphiques, les élèves dyscalculiques ont obtenu des résultats les plus faibles, les élèves dyslexiques ayant également obtenu de moins bons résultats que les élèves témoins. Pour l'inhibition des nombres, les performances des élèves du groupe témoin étaient égales à celles des élèves dyslexiques, les deux groupes obtenant de meilleurs résultats que les élèves dyscalculiques. Pour l'inhibition des mots, les performances des élèves du groupe témoin étaient égales à celles des élèves dyscalculiques ; les deux groupes avaient des temps de réponse plus courts et des taux d'erreurs plus faibles que les élèves dyslexiques. Ces résultats soulèvent la différenciation des capacités d'inhibition touchées selon le trouble d'apprentissage (dyslexie, dyscalculie).

Au final, l'examen des relations entre fonctions exécutives et troubles spécifiques d'apprentissage font ressortir des liens particulièrement étroits entre la mémoire de travail, l'inhibition, la flexibilité et la dyslexie. Un impact fort ressort également sur les temps de réponses, tant au niveau du fonctionnement exécutif qu'au niveau des performances à l'écrit et en lecture.

3.5 Bilinguisme et difficultés spécifiques des apprentissages

Plusieurs études ont été réalisées afin d'établir les liens entre le bilinguisme et les troubles spécifiques des apprentissages. Selon Jalali-Moghadam et Kormi-Nouri (2015), le bilinguisme constitue un avantage cognitif auprès des enfants à développement typique mais pas chez les enfants avec TSA (cité par Kechichian, 2021). D'autres auteurs précisent que la nature des langues qui sont en contact engendrent des difficultés qui sont peu marquées sur la précision et plus importantes sur les temps pour les langues transparentes. Cependant, pour les langues opaques, le déficit est marqué en précision et en temps (Bosse, Tainturier et Valdois, 2007). Rappelons que dans le contexte éducatif libanais, les deux langues (français/arabe ou anglais/arabe) sont enseignées dans la majorité des écoles dès les classes maternelles. La transparence de la langue joue dans ce cadre un rôle essentiel au niveau du langage écrit. Selon Kechichian (2021), le français est une langue opaque, vu la complexité de son système orthographique : la présence des di et des trigraphes, des irrégularités lexicales, des homonymes et des homophones et des règles d'accords. Par contre, le système orthographique arabe est plus transparent et se base surtout sur le principe de conversion phonème-graphème. L'écriture se fait de droite à gauche et requiert plusieurs formes pour chaque lettre en fonction de leurs positions dans le mot. Les lettres arabes se différencient visuellement par le nombre et la position de points, et auditivement en plus des sons sourds et sonores, s'ajoutent les sons emphatiques et non emphatiques. Certains éléments orthographiques liés en partie aux règles grammaticales sont cependant « source d'opacité » dans la langue arabe : comme les règles du « alif » et de la « hamza » au sein des mots, et les règles de la nounation et du son /t/ en n de mots. Tenant compte de ces caractéristiques linguistiques au niveau des apprentissages scolaires au Liban et de la complexité orthographique spécifique à chacune des deux langues française et arabe, l'enfant bilingue se trouve confronter à des contraintes qui nécessitent un effort cognitif supplémentaire. Les différences au niveau de la transparence des langues, de la complexité des formes graphiques des lettres dans l'une ou l'autre langue (Catach, 1995 ;

Kouloughli, 1994 ; Ryding, 2005) et les différences concernant les règles grammaticales (Saiegh-Haddad et Henkin-Roitfarb, 2014 ; Schelstraete et Maillart, 2004) ainsi que la vitesse de traitement des informations à l'écrit, impliquent dans l'ensemble divers aspects cognitifs.

Par ailleurs, Kohl et ses collaborateurs (2008) ne considèrent pas la multiplicité linguistique comme étant un facteur causal des troubles spécifiques du langage oral et écrit. Paradis, Genesee et Crago (2011) rapportent également que le bilinguisme n'augmente pas le risque des troubles au niveau de la lecture. Ces auteurs ajoutent que l'apprentissage de la lecture et de l'orthographe en L2 est généralement identique à celui de la L1. En effet, les capacités de décodage et d'orthographe en L1 prédisent les capacités de l'enfant en L2. Si les apprenants L2 diffèrent des apprenants qui lisent ou qui écrivent dans leur L1, c'est parce qu'ils sont toujours en train d'apprendre des aspects importants du langage oral. Quand il y a des difficultés, elles sont marquées dans les deux langues (Valdois *et al.*, 2014).

Concernant le choix de la langue maternelle et le lien avec la dyslexie, il est actuellement bien établi que les déficits liés aux difficultés de lecture sont universels et dépendent peu de la langue. Les dyslexiques de langues différentes ont la même différence de fonctionnement cérébral sous lecture - différence qui se caractérise par une sous activation au niveau de l'aire visuelle de l'hémisphère gauche (VWFA) par rapport à des normolecteurs (Paulesu, *et al.*, 2001). Les résultats d'une étude de Seymour, Aro et Erskine (2003) réalisée sur cinq langues de transparence croissante (français, portugais, hollandais, hongrois, finnois) révèlent que les prédicteurs cognitifs des difficultés en lecture sont semblables dans ces différentes langues. La conscience phonologique est toujours le principal prédicteur bien qu'ayant un effet plus saillant sur les langues les plus transparentes. Les élèves dyslexiques peuvent apprendre une seconde langue, voire une troisième, mais dans des conditions pédagogiques bien adaptées à leurs besoins (Beheydt, 2002). Cela étant, les enfants dyslexiques bilingues qui apprennent à lire et à écrire dans deux langues sont confrontés à la maîtrise de deux systèmes phonologiques distincts, ce qui engendre des difficultés supplémentaires au niveau de la discrimination des phonèmes, pour relier l'image auditive/visuelle au concept, pour distinguer au moment de l'apprentissage de l'écrit quatre formes de mots (2 images auditives et deux images visuelles), sans oublier qu'un concept dans une langue ne correspond pas forcément au même concept dans l'autre langue. Par ailleurs, ces difficultés sont plus ou moins accentuées selon les caractéristiques de chaque langue parlée. En effet, une langue régulière sur le plan de la correspondance grapho-phonémique est plus facile à apprendre qu'une langue irrégulière. Dans ce cas, l'enfant dyslexique doit contrôler deux conversions grapho-phonémiques (un son

équivalent à une ou plusieurs lettres) différents propres à chaque langue.

Enfin, il est important de prendre en compte le type du bilinguisme chez l'enfant dyslexique (précoce ou tardif) puisque chaque type aura des effets différents. Quand l'enfant est exposé tôt (bilinguisme précoce) ou dès sa naissance (bilinguisme simultané) à deux langues, le bilinguisme n'aura pas ou très peu de répercussions sur la dyslexie étant donné que l'acquisition du langage oral se fait sur les deux systèmes linguistiques. Dans ce cas, le bilinguisme n'aggrave pas la dyslexie et se manifeste dans les deux langues. La situation est différente pour le bilinguisme tardif. Dans ce cas, la dyslexie sera compliquée par le phénomène d'apprentissage « non naturel » de la seconde langue. Il est ainsi établi que l'apprentissage de la lecture et de l'orthographe en L2 s'avère pénible et lent dans le cas d'une dyslexie.

Conclusion : nouvelles questions et réponses envisagées

La première partie de ce travail nous permet d'avancer quatre constats principaux concernant les relations entre bilinguisme, fonctions exécutives et performance scolaire.

Premièrement, les résultats des recherches convergent en faveur des effets positifs du bilinguisme sur le développement des principales composantes du fonctionnement exécutif (mémoire de travail, inhibition, flexibilité et planification) bien que certains travaux remettent en question la validité de ces effets. Quant aux effets négatifs du bilinguisme sur le développement des FE, ils toucheraient essentiellement la vitesse d'accès lexical, et d'une manière générale les temps de traitement verbaux. Mais ici encore, la convergence des résultats fait défaut.

Deuxièmement, de nombreux travaux mettent en évidence un impact positif du bilinguisme sur les habiletés scolaires notamment sur la lecture et les mathématiques. Toutefois, ces conclusions sont nuancées par certaines études récentes qui ne soulèvent pas de différences entre les bilingues et les monolingues ou qui montrent un faible avantage chez les bilingues (Anghel, Cabrales et Carro, 2016 ; Fernandez-Sanjurjo, Fernandez-Costales et Arias Blanco, 2017). Certaines situations de bilinguisme séquentiel peuvent entraîner des difficultés par rapport à la situation des monolingues.

Troisièmement, les données convergent également en faveur de liens positifs entre les fonctions exécutives et les performances scolaires, tant en lecture qu'en mathématique. La mémoire de travail semble essentielle dans l'analyse phonologique (procédure d'assemblage) et dans la compréhension de phrase et de textes. Concernant les mathématiques, certains auteurs confirment le lien entre la mémoire de travail et les performances en arithmétique, en calcul mental et comptage verbal. La flexibilité cognitive, quant à elle, est impliquée dans les procédures d'identification des mots, dans le passage de la lecture globale à une lecture par déchiffrage et dans la compréhension de la lecture.

Concernant l'inhibition, elle est impliquée dans la discrimination des lettres et dans les accords sujets/verbes. De plus, cette composante joue un rôle dans la compréhension de la lecture chez des enfants de 10 ans. Au niveau des mathématiques, l'inhibition semble jouer un rôle essentiel dans la mise en correspondance entre les nombres non symboliques et symboliques, dans l'apprentissage de faits arithmétiques et dans la résolution de problèmes arithmétiques verbaux.

Quatrièmement, de nombreuses études soulignent l'existence des liens entre les fonctions exécutives et les TSA. Les travaux rapportent de faibles capacités de mémoire de travail chez les enfants dyslexiques en comparaison avec des enfants tout-venants. Les difficultés de mémoire de travail engendrent des difficultés de lecture et de compréhension du matériel lu. Par ailleurs, d'autres travaux rapportent un dysfonctionnement dans les composantes d'inhibition et de flexibilité mentale dans la dyslexie.

En ce qui concerne l'impact du bilinguisme sur les TSA, l'avis des chercheurs est départagé entre ceux qui trouvent que le bilinguisme constitue un avantage cognitif auprès des enfants à développement typique ce qui n'est pas le cas chez les enfants TSA. Par ailleurs, les caractéristiques des langues qui sont en contact dans un contexte éducatif déterminé peut aggraver les troubles spécifiques d'apprentissage chez l'enfant. Enfin, certains chercheurs ne considèrent pas la multiplicité linguistique comme un facteur causal des troubles spécifiques du langage oral et écrit.

Au Liban, les travaux menés sur la relation entre bilinguisme, fonctions exécutives et performance scolaire sont peu nombreux et les recherches effectuées dans le cadre universitaire ne sont pas publiées. Dans ce contexte, le premier objectif du travail présenté dans cette thèse est d'évaluer le fonctionnement exécutif des enfants libanais bilingues comparativement à celui des enfants libanais monolingues d'origine syrienne. On rappelle que les enfants libanais apprennent à l'école une première langue - l'arabe de scolarisation (L1) - et une seconde langue qui est le français ou l'anglais (L2) selon la scolarisation choisie. Les enfants monolingues parlent la langue arabe en dehors de l'école et apprennent l'arabe standard (L1) à l'école comme les bilingues à l'âge de 3 ans. Il s'agit tout d'abord de préciser les effets du bilinguisme sur les fonctions exécutives, et plus particulièrement sur l'inhibition et la flexibilité cognitive. Il s'agit ensuite d'explorer les effets du bilinguisme sur la dénomination rapide et sur les habiletés de lecture et mathématiques.

Nous tenterons donc d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Les processus cognitifs chez les sujets bilingues sont-ils organisés de la même façon que chez les monolingues ?
- Quels sont les effets du bilinguisme sur les fonctions exécutives des enfants au Liban et plus spécifiquement sur l'inhibition et la flexibilité cognitive ?
- Est-ce que les performances scolaires au niveau des mathématiques, de la lecture et de la dénomination rapide sont meilleures chez les enfants bilingues que chez les enfants monolingues ?

Par ailleurs, la question des rapports entre fonctions exécutives et troubles spécifiques des apprentissages s'avère importante dans le contexte éducatif bilingue. Et peut-être plus particulièrement encore chez les enfants libanais. Nous savons en effet que la prise en charge rééducative des enfants libanais bilingues ayant des troubles spécifiques d'apprentissage n'a pas les mêmes effets selon les groupes enfants. Tandis que certains enfants progressent avec les différentes prises en charge (scolaire, orthophonique, motrice...), d'autres enfants ne progressent pas. Et ces derniers présentent souvent un trouble dysexécutif associé à des difficultés spécifiques de lecture, d'écriture et de mathématiques. En fait, les troubles dysexécutifs sont souvent masqués par les difficultés académiques de l'enfant. Ainsi, après avoir étudié les relations entre bilinguisme, fonctions exécutives et performances scolaires (Étude 1), il serait sans doute judicieux d'analyser dans une seconde recherche les liens entre les difficultés spécifiques des apprentissages et les troubles dysexécutifs et de proposer une prise en charge adaptée basée sur les fonctions exécutives (Étude 2). Au final, il s'agit d'expérimenter de nouveaux moyens de rééducation adaptés aux enfants libanais souffrant de troubles spécifiques des apprentissages avec ou sans trouble dysexécutif.

CHAPITRE 4

Étude des relations entre bilinguisme, fonctions exécutives et performances scolaire chez les enfants au Liban

Des études récentes mettent l'accent sur le rôle des fonctions exécutives dans la mise en place des acquisitions académiques et linguistiques (Guerra *et al.*, 2019), sur la réussite scolaire et dans les apprentissages au sens large du terme (Duval, Bouchard et Pagé, 2017). Ces travaux font ressortir les effets de l'environnement (familial, culturel et scolaire) dans la structuration des fonctions exécutives et le développement cognitif et affectif de l'enfant en regard des facteurs biologiques et génétiques (Friedman *et al.*, 2008).

Par ailleurs, les travaux antérieurs (principalement ceux de Bialystok et son équipe) ont rapporté des effets positifs du bilinguisme sur les fonctions exécutives mais ceux-ci ont été contestés par d'autres recherches (Paap *et al.*, 2015 ; Nichols *et al.*, 2020). Quant aux effets négatifs du bilinguisme sur le développement des FE, ils toucheraient essentiellement la vitesse d'accès lexical, et d'une manière générale les temps de traitement verbal. Mais ici encore, la convergence des résultats fait défaut. En revanche, s'agissant des performances académiques, les données semblent converger en faveur de liens positifs avec les FE, tant en lecture qu'en mathématique.

La présente étude réalisée au Liban est, à notre connaissance, la première recherche expérimentale sur les relations entre bilinguisme, fonctions exécutives et performances académiques. La culture libanaise est caractérisée par un bilinguisme qui débute à la scolarisation obligatoire dès l'âge de 36 mois. Les enfants apprennent à l'école une première langue - l'arabe de scolarisation (L1) - et une seconde langue qui est le français ou l'anglais (L2) selon la scolarisation choisie (anglophone ou francophone). Les enfants monolingues parlent la langue arabe en dehors de l'école et apprennent l'arabe standard (L1) à l'école comme les bilingues à l'âge de 3 ans. En effet, tous les pays arabes connaissent une forme de diglossie¹ dans la mesure où la langue arabe standard coexiste avec un arabe propre à chaque pays. Toutefois, le débat à ce sujet n'est pas clos. Certains linguistes parlent de situations de trilinguisme en tenant compte des caractéristiques phonologiques, lexicales et syntaxiques particulières du parler libanais (Zakaria, 1997). Mais, la tendance dominante soutient la situation de diglossie de la langue d'arabe qui fourche en arabe standard et arabe dialectal

¹ Ferguson (1959, 336) définit la diglossie comme une situation langagière relativement stable dans laquelle, en plus du dialecte régional, il existe une variété normalisée, codifiée et adoptée dans les systèmes éducatifs, religieux et littéraires. Au Liban, cette variété (l'arabe standard) est utilisée dans les productions formelles (oral et à l'écrit) sans être pratiquées dans les conversations quotidiennes.

(Ferguson, 1959). Par conséquent, les participants monolingues de notre étude apprennent systématiquement l'arabe standard au moment de la scolarisation.

L'objectif de cette recherche est d'apporter un nouvel éclairage sur les relations entre le bilinguisme, le fonctionnement exécutif et les performances scolaires en lecture et en mathématiques auprès des enfants bilingues et monolingues libanais âgés de 8 à 10 ans. Il s'agit tout d'abord de préciser les relations entre le bilinguisme et les fonctions exécutives, et plus particulièrement de l'inhibition et de la flexibilité cognitive. Il s'agit ensuite d'explorer les effets du bilinguisme sur la dénomination rapide, le niveau de lecture et les habiletés mathématiques.

Relativement au contexte éducatif libanais bilingue, nous tenterons d'apporter des réponses à des questions spécifiques. Est-ce que les processus cognitifs chez les sujets bilingues sont-ils organisés de la même façon que chez les monolingues ? Quels sont les effets du bilinguisme sur les fonctions exécutives des enfants au Liban et plus spécifiquement sur l'inhibition et la flexibilité cognitive ? Enfin, est-ce que les performances scolaires au niveau des mathématiques, de la lecture et de la dénomination rapide sont meilleures chez les enfants bilingues que chez les enfants monolingues ?

En lien avec la littérature, trois prédictions sont formulées en regard des résultats rapportés dans les travaux présentés ci-dessus et dans les chapitres précédant. Tout d'abord, le bilinguisme précoce devrait favoriser le développement des fonctions exécutives, et plus particulièrement les capacités d'inhibition et de flexibilité cognitive, même si le développement des fonctions exécutives s'achève au passage à l'âge adulte. Inversement, on s'attend à observer un effet délétère du bilinguisme sur la rapidité de traitement, et plus particulièrement sur la dénomination rapide verbale. Quant aux habiletés scolaires notamment au niveau de la lecture et des mathématiques, on peut s'attendre à de meilleures performances chez les bilingues comparativement aux monolingues en lien avec la flexibilité cognitive et l'inhibition comme cela est souvent rapporté dans la littérature (Steinberg et Roditi, 2018). Certains auteurs mettent en avant le rôle de la flexibilité cognitive dans le décodage des informations indispensables pour la compréhension en lecture (Engel de Abreu *et al.*, 2014), ainsi que dans le passage rapide, souple et efficace de la procédure d'assemblage à la procédure d'adressage. Par ailleurs, d'autres chercheurs rapportent l'importance de la fonction d'inhibition des stimuli non pertinents au niveau des mathématiques (Mazeau et Pouhet, 2016).

4.1. Méthode

4.1.1. Participants

Quatre-vingt-dix élèves de CE2, âgés entre 8 et 10 ans (moyenne = 8 ans 6 mois) issus d'une même école primaire libanaise ont été retenus après avoir obtenu l'accord de l'école (cf. annexe : 3) et des parents (cf. annexe : 4). Ces élèves forment deux groupes distincts. Le premier (N = 45 : 25 filles et 20 garçons, moyenne d'âge = 8 ans 11 mois) est composé d'enfants bilingues (arabo-français) libanais ; le second (N = 45 : 25 filles et 20 garçons, moyenne d'âge = 9 ans 16 mois) est composé d'enfants monolingues (arabe) d'origine syrienne.

Le Liban est un pays d'accueil multiculturel (syriens, palestiniens, arméniens, irakiens, etc.). Les enfants monolingues d'origine syrienne du deuxième groupe sont nés au Liban (39 sur 45) et partagent la même culture. Six sont arrivés au Liban avant l'âge de 2 ans (dont 4 avant l'âge d'un an). Le pays n'accorde pas le droit du sol aux syriens. Par ailleurs, les deux communautés se comprennent facilement sans effort de neutralisation des accents propres à leur parler. Pour Berramdane (1973), les deux pays (Syrie et Liban) partagent le même parler « Syro-Libanais ». L'auteur rapporte également de légères variétés régionales au sein de ces parlers (différences de vocabulaire et de prononciation) qui restent très limitées et n'entravent pas la communication et la compréhension mutuelle. Les deux communautés sont culturellement les plus proches. Entre 1912 et 1923, les deux peuples appartenaient à un seul et même pays appelé la grande Syrie (Andurain, 2017). En outre, une recherche récente souligne l'intégration du peuple syrien au sein de la société libanaise. Le rapport « VASyR 2019 : Vulnerability Assessment of Syrian Refugees in Lebanon » effectué par l'agence UNHCR en 2019, distingue trois catégories de structures d'hébergement des réfugiés syriens au Liban : le logement résidentiel constituant le type de logement privilégié (69%), les structures non permanentes (20%) et les structures dites « non résidentielles » (11%) (UNHCR, 2019). A cette intégration sociale s'ajoute également une intégration économique signalée par (Berhin, 2017) en précisant que « les déplacés syriens, contrairement aux réfugiés palestiniens, sont soumis aux mêmes réglementations que les Libanais en ce qui concerne le marché de l'emploi » (page 47). De plus, « les populations vulnérables syriennes ont une réelle volonté d'indépendance financière » (Longuenesse, 2015). Malgré cette intégration socio-économique de la population, l'enseignement public et semi privé au Liban fait face à un immense défi, celui de tout mettre en œuvre pour permettre aux monolingues d'accéder au système scolaire libanais caractérisant par une éducation bilingue. Signalons que le milieu familial des enfants monolingues ne leur

permet pas de les scolariser avec les enfants bilingues même en suivant le cursus scolaire et le manuel libanais. Dans cette optique, les enseignants (tes) traduisent en arabe libanais les consignes des matières non linguistiques lues en L2 afin de faciliter l'apprentissage auprès des monolingues. Ceci se manifeste à travers les observations de classe des syriens qui a précédé le choix de l'échantillon. Cependant, les enfants bilingues comprennent facilement les consignes en L2 et n'ont pas besoin de traduction. Pour cette raison, les établissements scolaires libanais consacrent aux monolingues un créneau horaire propre (de 13h30 jusqu'à 19h) et ne les intègre pas aux classes des élèves libanais (8h et 13h30).

Le choix de ce type de bilinguisme (français-arabe) a été fait dans la mesure où c'est un bilinguisme suffisamment répandu au Liban. Tous les sujets (y compris les bilingues) sont scolarisés en école semi-privée qui n'est accessible qu'aux familles aisées. Les enquêtes libanaises (Central Administration of Statistics. Republic of Lebanon, 2020) démontrent que l'intégration culturelle des enfants monolingues dépend largement du statut social des parents. Plus celui-ci est favorable, meilleure est l'intégration culturelle à la société libanaise (Longuenesse, 2015). A cet égard, la sélection des enfants monolingues de notre étude a été contrôlée rigoureusement.

4.1.2. Critères d'inclusion et d'exclusion généraux

La sélection s'est opérée sur la base de plusieurs critères. Tout d'abord, aucun élève ne présente de difficulté scolaire avérée, ni de trouble spécifique d'apprentissage. Dans cette optique, nous avons consulté les relevés de notes des élèves afin de mieux choisir notre échantillon. Les enfants choisis présentent tous une moyenne générale comprise entre 12 et 14 sur 20 sur toutes les matières.

De plus, la seconde langue apprise à l'école par tous les élèves est la langue française (enseignée à raison de 9 heures hebdomadaires). Précisons que l'usage de cette seconde langue est essentiellement limité aux domaines scolaires ; elle n'est pas pratiquée dans le cadre familial. De la même manière, un questionnaire a été rempli auprès des parents afin d'évaluer l'utilisation de la langue française au quotidien chez les enfants bilingues (cf. annexe : 5). Enfin, le statut socio-économique de chaque élève a été rigoureusement contrôlé très précisément au moyen du même questionnaire adressé aux parents afin de contrôler l'homogénéité des deux groupes d'enfants (cf. annexe. 6).

Des observations ont été menées également en classes auprès des élèves (monolingues et bilingues) afin de mieux choisir notre échantillon. A noter que l'enseignement des matières non linguistiques se déroule en parler libanais auprès des monolingues.

4.2. Matériel

4.2.1. Modalités de passation

Les passations sont individuelles et leur durée moyenne est d'environ deux heures trente réparties sur deux séances pour chaque élève. Ces passations ont été réalisées dans une pièce calme et isolée de chaque école. La passation de ces épreuves est effectuée lors des séances d'éducation sportive ou de musique. Trois épreuves standardisées ont été administrées pour évaluer le fonctionnement exécutif, et plus précisément la flexibilité cognitive (épreuve des petits hommes verts de la TEA-Ch) (cf. annexe : 7), le contrôle inhibiteur (épreuve Marche/Arrête de la TEA-Ch) (cf. annexe : 8) et l'impulsivité cognitive (épreuve d'appariement d'image) (cf. annexe : 9). Une quatrième épreuve a été réalisée pour évaluer la vitesse de dénomination en lecture (épreuve de la BELEA) (cf. annexe : 10). Enfin, deux batteries d'épreuves ont été utilisées pour évaluer les habiletés mathématiques (Batterie ACE) et de lecture (épreuve de la BELEA) (cf. annexe : 11). L'ensemble de ces épreuves a été présenté dans un ordre aléatoire.

4.2.2. Description des épreuves

Au Liban, un manque au niveau des outils d'évaluation des fonctions exécutives est relevé. En fait, la plupart des épreuves ne sont pas étalonnées par rapport à la population libanaise. Face à cette situation problématique, notre choix a porté sur la batterie TEA-Ch vu qu'elle est proche de la vie quotidienne de l'enfant. Elle comporte 9 subtests : la recherche dans le ciel, les coups de fusil, les petits hommes verts, faire deux choses à la fois (recherche dans le ciel en double tâche), la carte géographique, écouter deux choses à la fois (coups de fusil en double tâche), la marche-arrête, mondes contraires et la transmission de codes. Ces subtests permettent d'évaluer les capacités attentionnelles des enfants et adolescents âgés de six à treize ans (version française). Il convient de signaler que la batterie a été étalonnée auprès d'enfants français (Manly, Robertson, Anderson et Nimmo-Smith, 2006). Les subtests couvrent plusieurs domaines tels que : l'inhibition, la mémoire de travail, l'attention et la flexibilité et permettent de définir les traitements et les moyens d'aides pour ces enfants. Dans cette batterie les auteurs

proposent deux versions : la version A permet l'évaluation cependant la version B permet la réévaluation des sujets après une période de rééducation. Ceci facilite la comparaison des performances des enfants entre le début et la fin de la prise en charge rééducative. L'évaluation avec la batterie complète prend environ une heure mais la durée de la passation varie d'un enfant à un autre. Afin d'évaluer les performances des enfants au niveau de l'inhibition et de la flexibilité nous avons choisi uniquement le subtest des petits hommes verts et la marche-arrête qui permettent d'évaluer respectivement la flexibilité et l'inhibition de réponses.

4.2.2.1. Flexibilité cognitive

L'épreuve des "petits hommes verts" de la TEA-Ch (Manly *et al.*, 2006) évalue les capacités de l'enfant au niveau du contrôle attentionnel et de la flexibilité. Cette épreuve consiste à compter des petits hommes verts disposés dans des souterrains. Cette tâche renferme 7 planches ou items au total. Lors du comptage à voix haute, l'enfant passe à plusieurs reprises d'un comptage à l'endroit à un comptage à rebours. Il doit ainsi respecter les flèches qui indiquent le changement de sens du comptage et mémoriser le chiffre auquel il était parvenu avant le changement. Ce subtest sollicite notamment la flexibilité mentale mais également le contrôle attentionnel et la mémoire de travail. La consigne consiste à demander de l'enfant de compter des petits hommes verts dans leur galerie souterraine mais, parfois, en avant, puis, à reculons. Les participants doivent toujours suivre la galerie tout au long de haut en bas. Les flèches indiquent dans quel sens l'enfant doit compter.

La cotation est réalisée en plusieurs étapes. Une note totale (I) est calculée selon la réussite au comptage des petits hommes verts dans chaque planche. (1) point est accordé pour chaque item ou (planche correctement compté) ou l'échec au comptage (0 point) ensuite on calcule le total des réponses correctes (max. = 7). Une seconde note est calculée (J) qui correspond au temps total de comptage des items réussis. On note également le nombre total de changements de sens des items corrects (K). Quand cela est possible, et seulement si l'enfant effectue correctement 3 items ou plus, on calcule la note finale (L) qui correspond au rapport J/K (max. = 26) pour la version A et (max. = 24) pour la version B.

4.2.2.2. Inhibition

L'épreuve « marche-arrête » de la TEA-Ch (Manly *et al.*, 2006) a été utilisée pour évaluer les capacités inhibitrices des enfants. Il s'agit d'une épreuve de type stop-signal, durant laquelle les participants doivent effectuer un certain nombre de pas sur une feuille, en fonction de différents stimuli sonores. A chaque fois que le participant entend le stimulus sonore cible, il doit avancer d'un pas en laissant une trace sur la feuille de passation. Cependant, dès lors que le stimulus sonore cible est immédiatement suivi d'un bruit très fort (le stop signal), le participant ne doit pas effectuer un nouveau pas, et ne doit pas réaliser de trace sur la feuille avec son crayon. Cette tâche comporte 4 items d'exemple, afin de s'assurer que le participant a bien compris les consignes, puis 20 items tests. Chaque item est composé de trois à douze pas, et la vitesse à laquelle les stimuli sonores s'enchaînent augmente graduellement du premier au dernier item. Ainsi, cette épreuve permet d'évaluer les capacités d'inhibition des enfants, ces derniers devant inhiber leur mouvement graphique dès lors qu'ils entendent le stop signal. Cette épreuve aboutit à la note Y, correspondant au nombre d'items correctement effectués, sur une échelle de 0 à 20.

4.2.2.3. L'impulsivité cognitive

L'épreuve d'appariement d'images (Albaret, Benesteau et Marquet-Doleac, 1999) met en évidence l'impulsivité cognitive et les troubles de l'attention chez les enfants de 8 à 13 ans. Le matériel renferme 11 planches (un exemple et 10 items) qui représentent des images significatives de la vie familiale et quotidienne. Il s'agit de retrouver parmi 6 dessins la copie identique à celle du modèle placé en haut de la page. La durée maximale de recherche est fixée à 60 secondes par planche. Si l'enfant n'identifie pas le modèle correct au premier essai, les erreurs commises seront comptabilisées jusqu'à la réussite ou la fin du temps imparti. La consigne consiste d'expliquer à l'enfant que c'est un peu comme le jeu de différence. Nous expliquons au participant qu'en haut de la page, il y a un modèle, et en dessous 6 copies, et dans celle-ci il n'y a qu'un seul qui est exactement pareil que le modèle. Le participant doit retrouver la copie qui est exactement comme le modèle. Nous précisons à l'enfant de prendre son temps et dès qu'il pense l'avoir trouvé, il nous le montre. Le premier exemple, ne compte pas, c'est pour être sûr que l'enfant a bien compris les consignes. A noter qu'il faut expliquer à l'enfant qu'il va être chronométré et qu'il n'y a qu'une minute par dessin. Pour la cotation, quatre variables sont prises en compte comme le temps de latence à la première réponse, le nombre

total d'erreurs (E), le temps total de passation (TT) exprimé en seconde et le nombre de réussites dès la première réponse (R). A partir de ces mesures, un index d'impulsivité et un index d'exactitude sont calculés. L'index d'impulsivité correspond au nombre d'erreurs moyennes par minute et l'index d'exactitude est calculé en fonction du nombre de réponses exactes par minute. Les notes de ces deux index mettent en évidence le degré de l'impulsivité cognitive.

4.2.2.4. Capacité en lecture

Depuis quelques années, l'institut supérieur d'orthophonie de l'Université Saint-Joseph de Beyrouth (ISO-USJ) s'est penché sur la problématique d'évaluation du langage écrit en langue arabe d'où l'idée de l'élaboration d'un outil de dépistage spécifique pour la langue arabe : le BELEA (cf. annexe.7). Cette batterie comporte plusieurs épreuves conçues dans le cadre du projet de recherche « plurilinguisme et langage écrit » soutenu par le conseil de la recherche de L'USJ. La BELEA est en cours d'étalonnage au Liban. Elle comprend plusieurs épreuves évaluant la lecture, l'orthographe, les capacités métaphonologiques, les capacités morphologiques, les habiletés d'attention et de discrimination visuelle ainsi que les capacités phonologiques. Nous allons nous attarder sur les épreuves de lecture des mots qui évalue les deux stratégies de lecture : la stratégie d'assemblage (ou voie sub-lexicale) et la stratégie d'adressage (ou voie lexicale). Cette épreuve comporte 3 listes de 20 items chacune ; deux listes de mots (fréquents et non fréquents) inspirées du modèle à double voie de Coltheart (1978) et une liste de logatomes (construits selon des critères spécifiques de patterns et de racines, inspirés du modèle de décomposition morphologique obligatoire de Boudelaa (2014)). Pour chaque liste, un score de précision et un temps de lecture sont relevés. Il convient de préciser que les listes sont divisées selon les niveaux de classe : une version (petits) ou niveau 1, adressée aux enfants de la classe de CE1 et une version (grands) ou niveau 2 adressée aux enfants de la classe de CE2, CM1 et CM2.

Cette épreuve comprend une fiche à donner à l'enfant et une fiche de passation sur laquelle le clinicien marque les erreurs et les résultats de l'enfant. Avant de commencer la passation, il est important de veiller sur le niveau de la classe avant de proposer la fiche à l'enfant : niveau 1 ou niveau 2. L'enfant est invité à lire trois listes de mots en commençant par les mots fréquents puis les mots peu fréquents et enfin les non-mots. Chaque liste est chronométrée seule. L'enfant doit donc s'arrêter à la fin de chaque colonne. Avant la lecture de la dernière liste, il faut bien préciser à l'enfant qu'il s'agit de mots qui n'ont pas de sens. Les consignes consistent à demander de l'enfant de lire la première liste des mots ensuite la deuxième liste et la dernière

liste renfermant des mots qui n'ont pas de sens ; le plus vite possible. Deux indices sont cotés sur chaque liste de mots : le total des réponses correctes (chaque mot lu correctement est noté 1 point) et le temps de la lecture pour chaque liste (noté en secondes). Pour chaque sujet, deux scores moyens ont été calculés sur les trois listes, le premier sur les réponses correctes et le second sur les temps de lecture.

4.2.2.5. L'évaluation de la rapidité d'accès lexical

Une autre épreuve a été choisie de la batterie BELEA a été choisie pour évaluer la rapidité d'accès au lexique interne : l'épreuve de dénomination rapide. Cette épreuve est composée d'une planche de 25 images de 5 dessins différents disposés de manière aléatoire que l'enfant doit dénommer le plus rapidement possible. Les auteurs du test soulignent que les mécanismes sollicités dans cette tâche de dénomination rapide sont homologues à ceux de la lecture. Ils contribuent à dépister précocement les troubles de la lecture. Concernant la consigne, nous demandons de l'enfant de nommer les images se trouvant dans la première colonne (dans laquelle les 5 images différentes figurent) pour s'assurer qu'elles sont bien connues. Nous précisons à l'avance qu'il ne s'agit pas d'utiliser de déterminant, il doit dire : raisin-chaussette-cartable-pantalon-seau. Ensuite, nous expliquons qu'il doit nommer l'image de chaque case en suivant les lignes horizontalement dans le sens de la lecture et que nous allons noter le temps qu'il met. Nous déclenchons le chronomètre au premier son énoncé par l'enfant. Nous arrêtons le chronomètre à la fin de la dénomination de la dernière image. Dans le cas où l'enfant s'arrête sur une case, nous attendons 5 secondes et nous lui demandons de passer à la suivante. La cotation de cette épreuve prend en compte, d'une part, le nombre d'erreurs commises par l'enfant et, d'autre part, le temps de dénomination en seconde.

4.2.2.6. L'évaluation des habiletés mathématiques

Une batterie d'évaluation des habiletés mathématiques qui sous-tendent le curriculum scolaire des élèves de primaire a été choisie pour évaluer les performances mathématiques. Il s'agit de la batterie ACE (Vilette, Fischer, Sander, Sensevy, Quilio et Richard, 2017 ; Fischer, Vilette, Joffredo-Lebrun, Morellato, Le Normand et Scheibling-Seve, 2019) qui comprend un total de 38 items regroupés en quatre sous-domaines : le calcul mental, l'écriture arithmétique, l'estimation et la résolution de problèmes arithmétiques. Ces quatre sous-domaines donnent un score total pour chaque sujet (max.=100) qui est reparti de la manière suivante : calcul mental (24 points), écritures arithmétiques (24 points), estimation (18 points) et résolution de

problèmes arithmétiques (34 points).

4.2.2.7. L'évaluation du statut socio-économique

L'évaluation du statut socio-économique (SSE) a été réalisée à partir d'un questionnaire conçu par le Ministère des affaires sociales libanais pour déterminer le niveau socio-économique des familles isolées. Ce questionnaire a été adressé aux parents de chaque élève. Huit critères sont pris en compte pour calculer un score total (maximum 20 points) : la profession de la mère (max.=3), la profession du père (max.=3), les revenus du foyer (max.=3), l'estimation des biens (max.=3), la composition de la famille (max.=2), la valeur des biens immobiliers (max.=2), les caractéristiques du logement (max.=2) et les moyens de transport utilisés (max.=2) ².

4.3. Résultats

4.3.1. Statistiques descriptives

Les moyennes et écarts-types des performances des enfants monolingues (Mono) et bilingues (Bi) pour chaque évaluation sont présentés dans le tableau 1 (flexibilité, inhibition, impulsivité, dénomination, mathématique et lecture).

² Ce questionnaire a été élaboré par le Ministère des Affaires Sociales du Liban et nous a été transmis sur demande.

Tableau 1: Statistiques descriptives des performances sur le fonctionnement exécutif et sur les épreuves académiques (N=90)

		Min	Max	Moyennes	Ecart-types
Flexibilité	<i>Mono</i>	0	8,50	1,01	2,34
	<i>Bi</i>	0	10,50	5,02	2,77
Inhibition	<i>Mono</i>	6	18	10,33	3,61
	<i>Bi</i>	11	20	16,07	2,87
Impulsivité	<i>Mono</i>	0,30	4,30	2,19	1,09
	<i>Bi</i>	0,12	5,12	2,08	1,15
Dénomination ^(a)	<i>Mono</i>	18 (0)	49 (3)	32 (0,36)	18.36 (0,84)
	<i>Bi</i>	25 (0)	90 (6)	57 (2,91)	19.19 (1,68)
Mathématique	<i>Mono</i>	12	56	29,50	12,37
	<i>Bi</i>	28,50	97	69,71	16,04
Lecture ^(b)	<i>Mono</i>	1.33 (20)	13.33 (136)	7.11 (71)	3.25 (34,09)
	<i>Bi</i>	0 (27)	5.67 (113)	1.70 (53)	1.22 (15,32)

(a) Temps en sec. (erreurs) de dénomination ; ^(b) erreurs (temps en sec.) de lecture

Flexibilité cognitive

Les performances du groupe Mono et Bi à l'épreuve des petits hommes verts de la TEA-CH sont représentées dans la figure 9. La moyenne des scores du groupe Mono sur la flexibilité cognitive (moyenne=1,01 ; écart-type=2,34) étant inférieure à celle du groupe Bi (moyenne=5.02 ; écart-type=2,77).

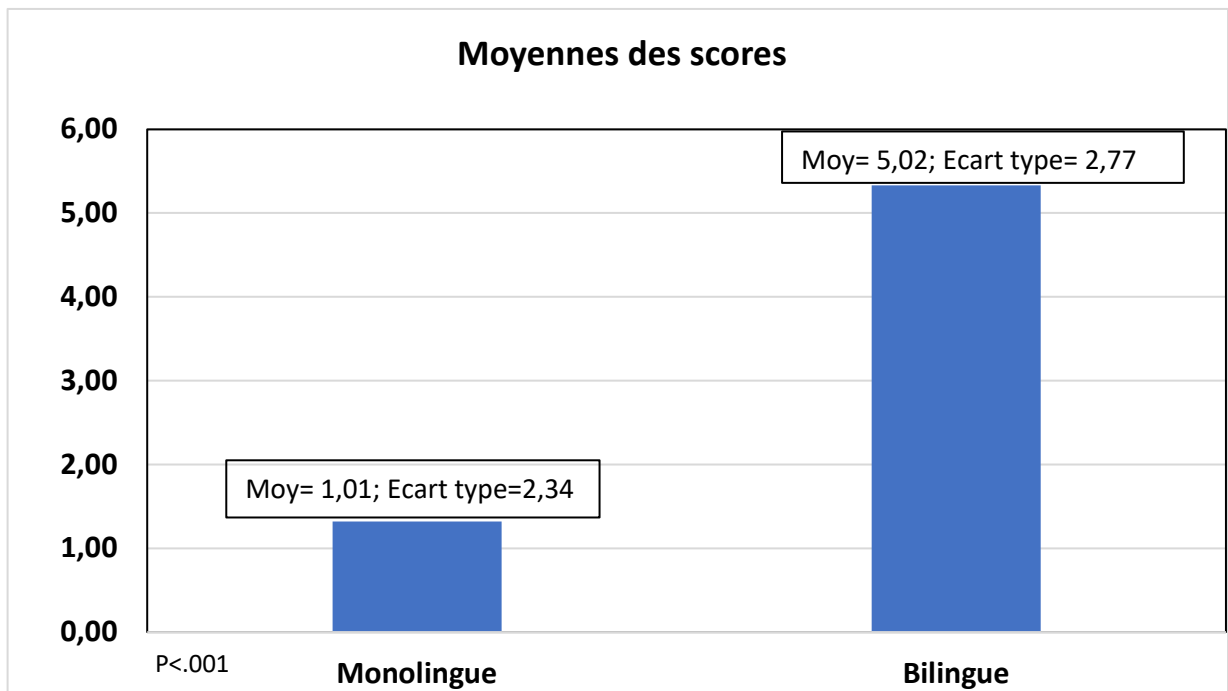


Figure 9: Comparaison des moyennes à l'épreuve des petits hommes verts (flexibilité) entre le groupe monolingue et le groupe bilingue

Inhibition de réponses

Les performances du groupe Mono et du groupe Bi à l'épreuve Marche-Arrête de la TEA-CH sont représentées dans la figure 10. La moyenne des scores du groupe Mono sur les capacités d'inhibition (moyenne=10,33 ; écart-type=3,61) est inférieure à la moyenne du groupe Bi (moyenne=16,07 ; écart-type= 2,87).

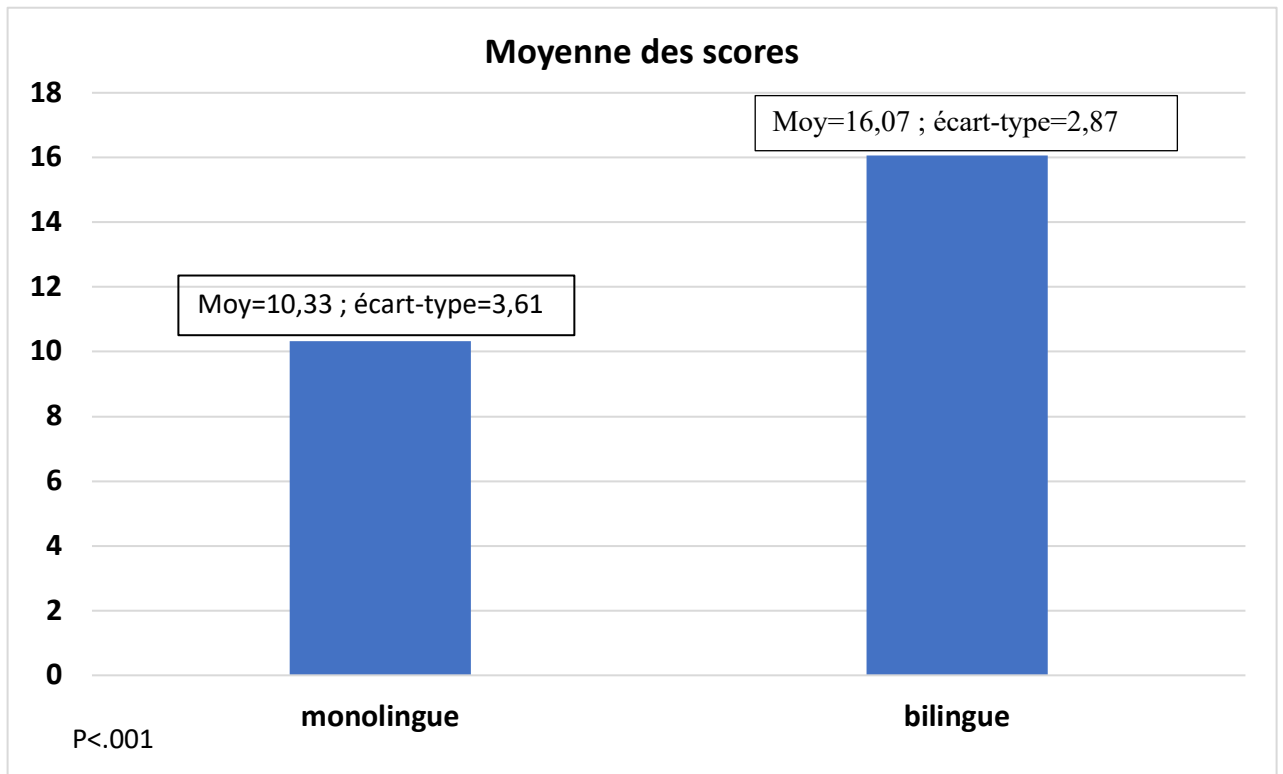


Figure 10: Comparaison des moyennes à l'épreuve Marche-Arrête (inhibition) entre les monolingues et les bilingues

Impulsivité cognitive

Les performances du groupe Mono et du groupe Bi à l'épreuve d'appariement d'images sont représentées dans la figure 11. Le groupe Mono est plus impulsif (moyenne=2,19 ; écart type=1,09) par rapport au groupe bilingue (moyenne=2,08 ; écart type=1,15).

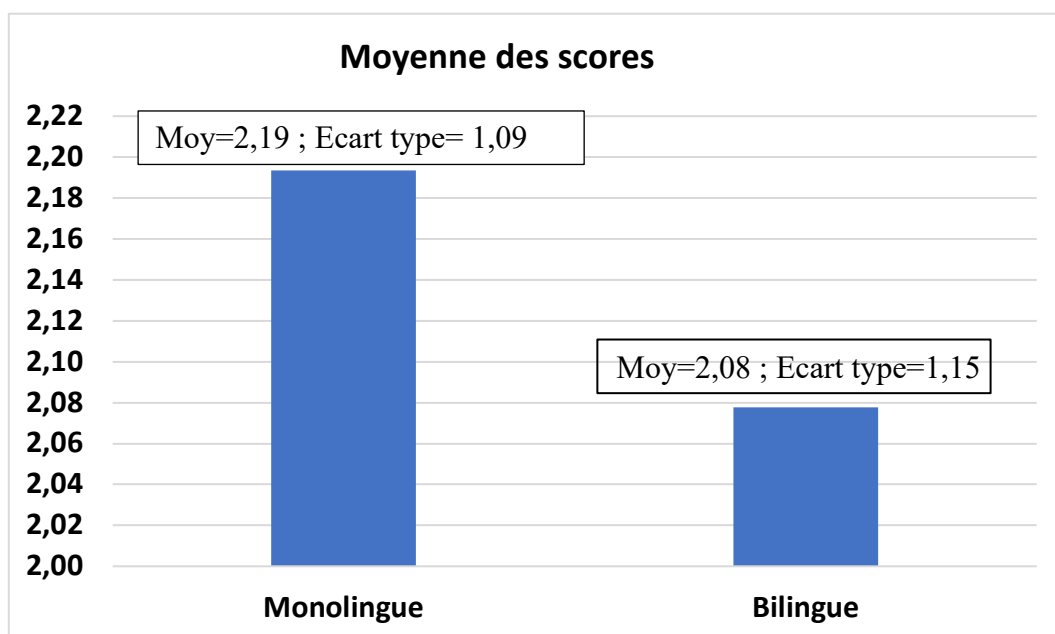


Figure 11: Comparaison des moyennes à l'épreuve d'appariement d'images entre monolingues et bilingues

Capacités en mathématiques

Les pourcentages des enfants réussis à la Batterie ACE dans les deux groupes sont représentées dans la figure 12. La moyenne des scores du groupe Bi calculée (moyenne=69,71 ; écart type=16,04) est supérieure à celle du groupe Mono (moyenne=29,50 ; écart type= 12,37).

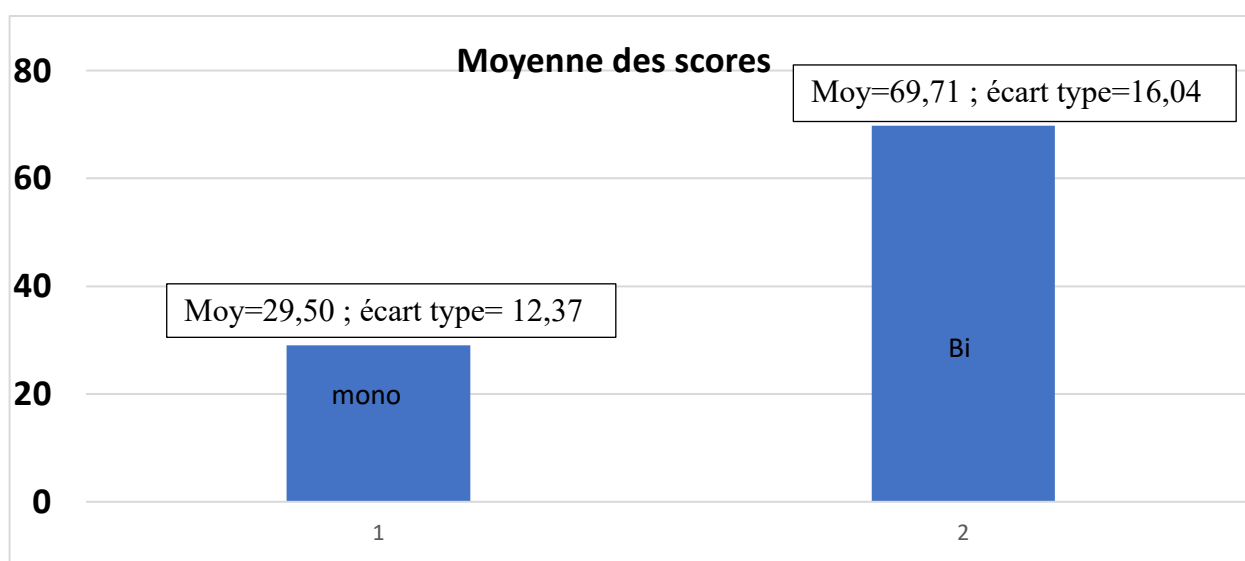


Figure 12: Comparaison des scores de la moyenne des enfants à la batterie ACE entre monolingues et bilingues

Habiletés en lecture

Nous rappelons que l'épreuve de lecture permet d'évaluer les capacités de lecture des mots fréquents, non fréquents et des logatomes en langue arabe. Ainsi, deux variables sont calculées : la vitesse de la lecture et le nombre des erreurs. Les performances du groupe monolingue et du groupe bilingue à l'épreuve de lecture sont représentées dans les figures 13 et 14.

Concernant les erreurs commises au cours de la tâche de lecture, la moyenne des scores obtenus chez le groupe Mono (moyenne=7,11 ; écart-type=3,25) est supérieure à celle du groupe Bi (moyenne=1,70 ; écart-type= 1,22). De plus, la moyenne des résultats du temps de lecture (en secondes) du groupe Mono (moyenne=71 sec ; écart-type=34,09) est également supérieure à celle du groupe Bi (moyenne=53 sec ; écart-type=15,32).

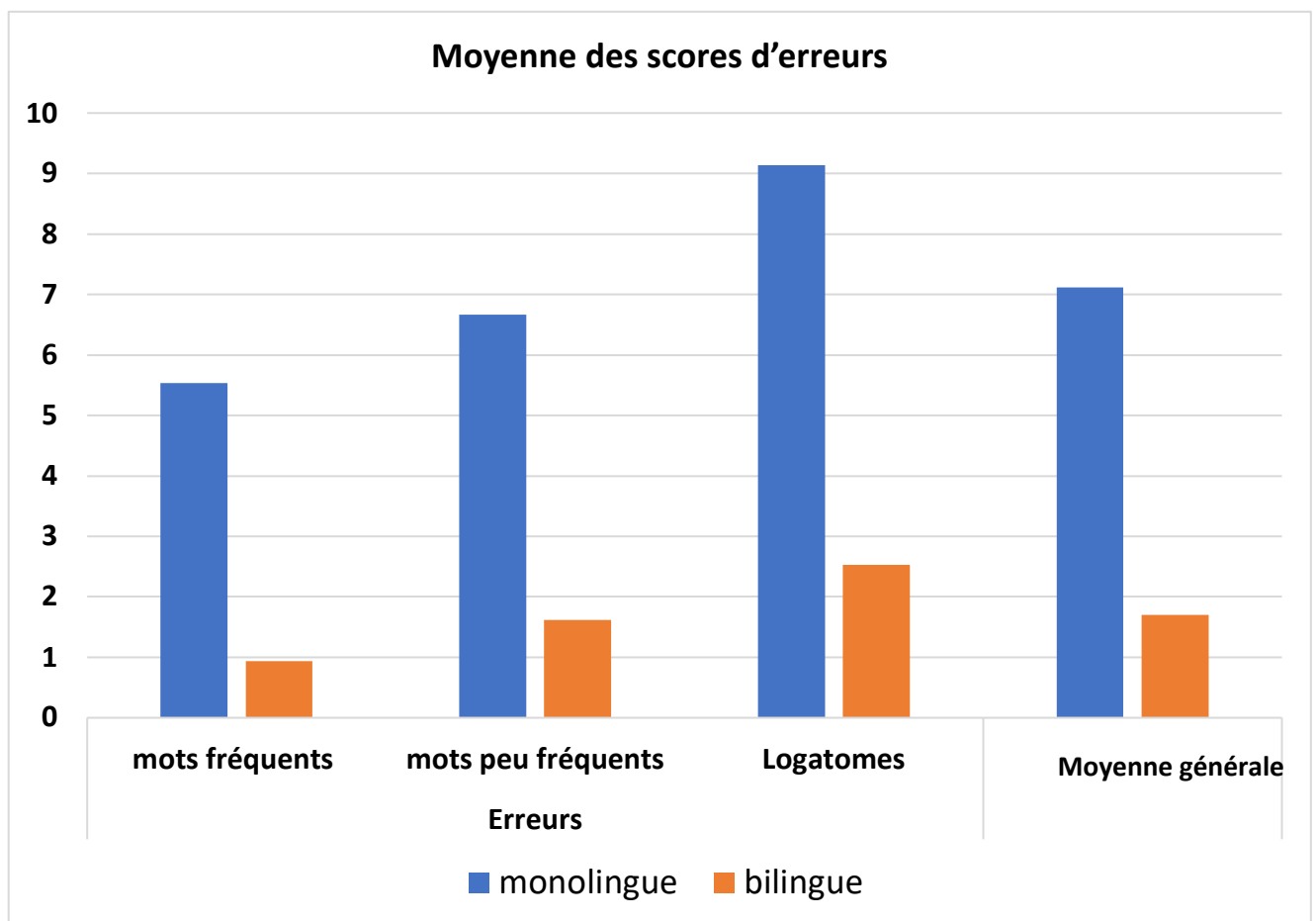


Figure 13: Comparaison des moyennes d'erreurs de lecture à la batterie BELEA entre monolingues et bilingues

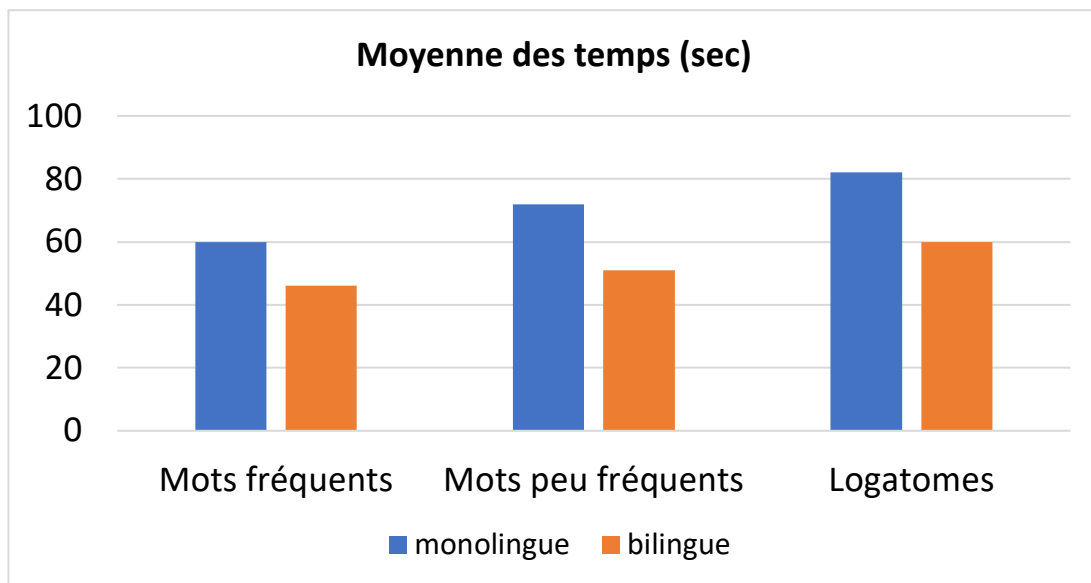


Figure 14: Comparaison des moyennes de temps de lecture à la batterie BELEA entre monolingues et bilingues

Dénomination rapide

Les performances du groupe Mono et Bi à l'épreuve de dénomination rapide sont représentées dans les figures 15 et 16. En ce qui concerne les erreurs commises, la moyenne des résultats du groupe Mono (moyenne=0,36 ; écart-type=0,84) est inférieure à la moyenne des scores du groupe Bi (moyenne= 2,91 ; écart-type= 1,68). Concernant le temps de la dénomination, le groupe Mono est plus rapide (moyenne=32 ; écart-type= 18) que le groupe Bi (moyenne=57 ; écart-type=19,19).

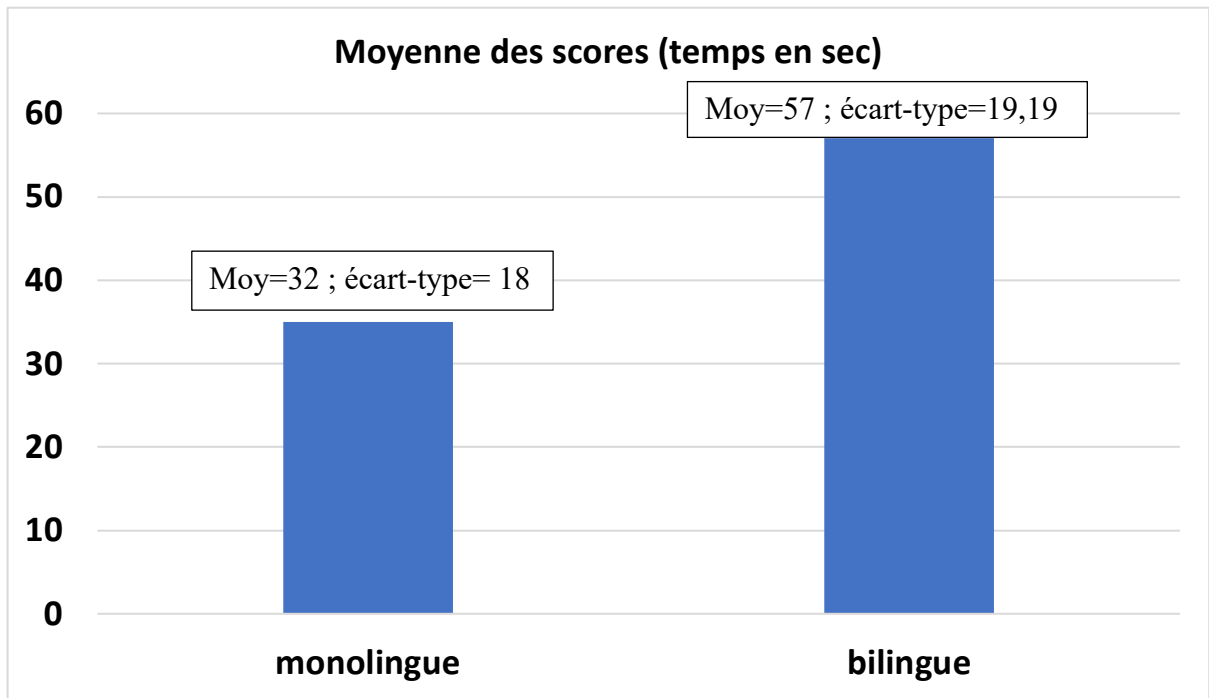


Figure 15: Comparaison des moyennes de temps (en sec) à l'épreuve de dénomination rapide entre monolingues et bilingues

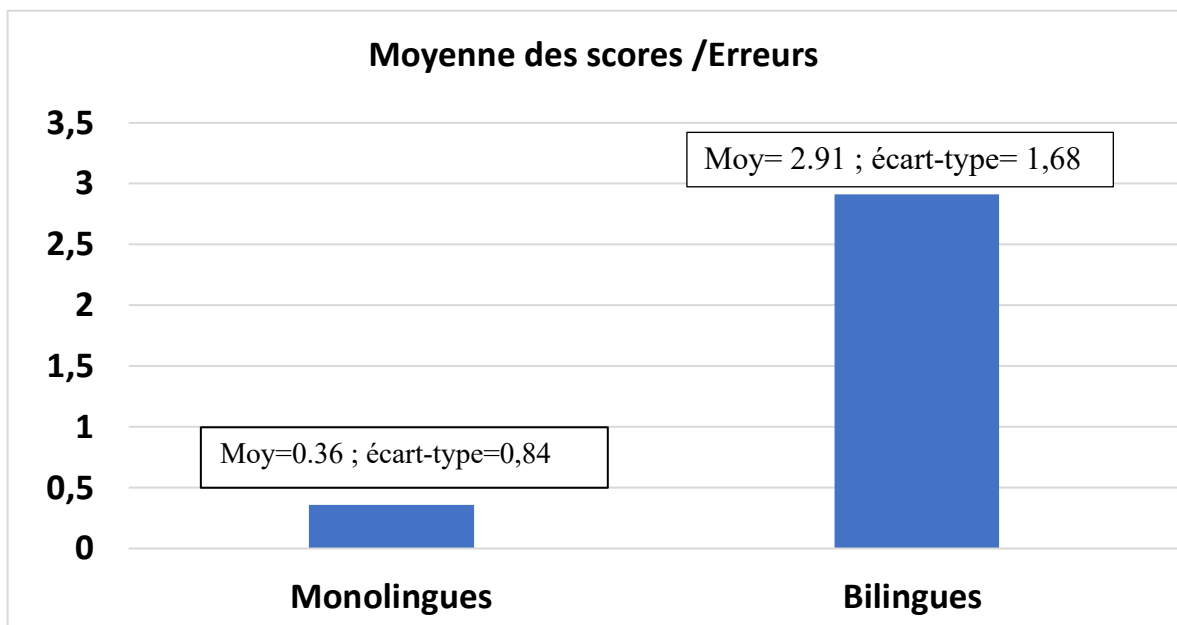


Figure 16: Comparaison des moyennes d'erreurs commises à la dénomination rapide entre monolingues et bilingue

4.3.2. Analyses préliminaires

Une analyse des corrélations de Pearson (bivariée et point bisériale) a été réalisée (tableau 2) afin de tester les liens entre les variables indépendantes (monolingue, bilingue), les variables dépendantes (flexibilité, inhibition, impulsivité, dénomination, mathématiques et lecture) et les variables de contrôle (âge et sexe de l'enfant, statut socio-économique).

Tableau 2: Corrélations entre les variables de contrôle, les performances exécutives et les performances académiques (N=90)

		Age	Sexe	SSE
Flexibilité	<i>Mono</i>	-.01	.05	.02
	<i>Bi</i>	-.18	.14	.10
Inhibition	<i>Mono</i>	.26 ^t	.36*	.04
	<i>Bi</i>	-.37**	.16	.21
Impulsivité	<i>Mono</i>	-.13	-.28 ^t	-.24
	<i>Bi</i>	-.34*	.13	-.11
Dénomination ^(a)	<i>Mono</i>	-.20 (.14)	.01 (.14)	.02 (.10)
	<i>Bi</i>	-.43** (-.43**)	-.24 (.17)	-.22 (-.29 ^t)
Mathématique	<i>Mono</i>	.22	.15	.29 ^t
	<i>Bi</i>	.04	-.42**	-.02
Lecture ^(b)	<i>Mono</i>	-.21 (-.03)	-.29 ^t (-.21)	-.14 (-.04)
	<i>Bi</i>	.12 (.31*)	.03 (.09)	.06 (-.01)

^(a) temps (et erreurs) de dénomination ; ^(b) erreurs (et temps) de lecture

^t p<.10 ; * p<.05 ; ** p<.01

On constate une majorité de liens positifs et significatifs entre l'âge des enfants et les performances exécutives et académiques dans le groupe bilingue. En revanche, aucun lien significatif n'est observé entre l'âge des enfants et les performances exécutives et académiques dans le groupe monolingue. On trouve également un lien significatif entre le sexe des enfants et les performances exécutives dans le groupe monolingue, ainsi qu'entre le sexe des enfants et les performances mathématiques dans le groupe bilingue³. Enfin, deux liens sont tendanciels dans le groupe monolingue entre le sexe de l'enfant et l'impulsivité d'une part, et entre le sexe

³ Dans le groupe monolingue, les scores d'inhibition sont significativement supérieurs chez les filles comparativement aux garçons (t(43)=2,33, p<.025) mais pas le groupe bilingue (t(43)=-0,79, p>.42). Dans le groupe bilingue, les scores en mathématique sont significativement supérieurs chez les garçons comparativement aux filles (t(43)=-3,05, p<.004) mais pas le groupe monolingue (t(42)=1,03, p>.30).

et les erreurs de lecture d'autre part. Par conséquent, l'âge et le sexe seront contrôlés dans les analyses principales. Concernant le statut socio-économique, aucun lien n'est significatif avec les performances exécutives et académiques.

D'une part, on ne trouve pas de différence significative entre les scores socio-économiques du groupe monolingue (moyenne = 9,93 ; écart-type = 3,83) et ceux du groupe bilingue (moyenne = 10,13 ; écart-type = 3,41), $t(88) = -0,26$, $p = 0,794$; et d'autre part une absence de significativité des relations entre le statut socio-économique et les performances exécutives et académiques. Une seule tendance significative est observée entre le statut socio-économique et les performances mathématiques. Par conséquent, les analyses principales sont indépendantes du statut socio-économique.

4.3.3. Analyses principales : corrélations partielles et analyses de variance multivariée

Nous avons tout d'abord procédé à une analyse des corrélations partielles dans chacun des deux groupes (monolingue et bilingue) entre les performances exécutives (flexibilité, inhibition, impulsivité et dénomination) et les performances académiques (mathématique et lecture) avec contrôle de l'âge et du sexe de l'enfant (tableau 3).

Les performances en mathématiques sont corrélées positivement et significativement avec l'inhibition dans le groupe bilingue. On observe également un lien tendanciel entre les performances mathématiques et la flexibilité dans le groupe monolingue. Les autres liens avec les performances mathématiques ne sont pas significatifs. En ce qui concerne les performances en lecture, on observe des liens significativement négatifs dans chaque groupe (monolingue et bilingue) entre les scores d'erreurs et la flexibilité d'une part ; et entre les scores d'erreurs et l'inhibition d'autre part. Tous les autres liens avec les performances en lecture s'avèrent non significatifs.

Tableau 3: Corrélations partielles entre les performances exécutives et les performances académiques contrôlées sur l'âge et le sexe (N= 90)

		Math	Lecture Erreurs	Lecture Temps
Flexibilité	<i>Mono</i>	-.33 ^t	-.23 ^t	-.17
	<i>Bi</i>	-.02	-.39*	.08
Inhibition	<i>Mono</i>	.03	-.34*	-.19
	<i>Bi</i>	.62**	-.41*	-.20
Impulsivité	<i>Mono</i>	.01	.06	.08
	<i>Bi</i>	-.07	.03	.02
Dénomination ^(a)	<i>Mono</i>	-.14 (.10)	.25 (.03)	.11 (-.04)
	<i>Bi</i>	-.22 (-.06)	.03 (.06)	.11 (.05)

^(a) temps (et erreurs) de dénomination ; ^(b) erreurs (et temps) de lecture

^t p<.10 ; *p<.05 ; **p<.01

Nous avons ensuite procédé à une analyse de covariance multivariée pour préciser les relations entre le bilinguisme, le fonctionnement exécutif et les performances académiques. Afin de contrôler les variables contrôles, le sexe a été introduit comme un prédicteur catégoriel tandis que l'âge et le statut socioéconomique ont été introduits comme des prédicteurs continus dans l'analyse de variance multivariée. Les résultats de l'analyse montrent un effet principal significatif du bilinguisme ($F [8, 73] = 23,67, p < .0001$) et du sexe ($F [8, 73] = 2,25, p < .033$). La taille de l'effet du bilinguisme (Eta carré partiel) est très importante ($\eta^2 = 0,722$) ; celle du sexe est faible ($\eta^2 = 0,198$). Il n'y a pas d'effet principal de l'âge ($F [8, 73] = 1,73, p = .105$), ni du statut socioéconomique ($F [8, 73] = 0,84, p = .569$). Les résultats des comparaisons planifiées révèlent six contrastes significatifs pour le bilinguisme (sur un total de huit) et aucun pour le sexe (tableau 4). Le tableau précise si la comparaison est significative (ou non) au seuil corrigé 0.0031 (correction de Bonferroni⁴ pour comparaisons multiples).

⁴ L'ajustement de Bonferroni est effectué lorsqu'on réalise de multiples tests de significativité sur les mêmes données, en rapportant le seuil de significativité choisi (.05) au nombre de tests effectués (soit ici $0.05 / 16 \approx 0.0031$).

Tableau 4: Comparaisons planifiées (valeur t et seuil p) sur les variables catégorielles sexe et bilinguisme

	Bilinguisme			Sexe		
	Valeur t	Seuil p	Sig. ^(a)	Valeur t	Seuil p	Sig. ^(a)
Flexibilité	-4,04	.001	O	-1,05	.295	N
Inhibition	-7,19	.001	O	-1,04	.301	N
Impulsivité	1,48	.143	N	-0,96	.341	N
Dénomination temps	-3,55	.001	O	-0,30	.763	N
Dénomination erreur	-5,06	.001	O	-1,05	.297	N
Mathématique	-9,81	.001	O	0,01	.994	N
Lecture erreurs	7,55	.001	O	-0,87	.388	N
Lecture temps	1,49	.139	N	0,97	.335	N

^(a) Significativité du contraste au seuil corrigé de Bonferroni $p < .0031$: O (ui)/N (on)

Les résultats des comparaisons planifiées font ressortir les liens entre le bilinguisme et le fonctionnement exécutif et les performances académiques : comparativement aux monolingues, le groupe bilingue est significativement plus performant aux épreuves de flexibilité, d'inhibition, de mathématiques et de lecture (erreurs et temps). En revanche, les bilingues sont significativement plus lents à l'épreuve de dénomination rapide et font également significativement plus d'erreurs que les monolingues.

4.4. Discussion

Cette étude avait pour objectif d'étudier les relations entre le bilinguisme, le fonctionnement exécutif et les performances scolaires (en lecture et en mathématique) chez des enfants libanais bilingues et monolingues scolarisés en CE2. Nous avons fait l'hypothèse de liens positifs entre le bilinguisme et les fonctions exécutives, et plus spécifiquement avec les capacités d'inhibition et de flexibilité cognitive, ainsi que sur les performances académiques en lecture et en mathématique. En revanche, la relation entre le bilinguisme et l'impulsivité faisant moins consensus dans les travaux antérieurs, il s'agissait de vérifier son existence ou non ; de même, pour la relation entre bilinguisme et la précision lexicale estimée à partir du nombre d'erreurs dans une tâche de dénomination orale. Inversement, en raison de l'effet délétère du bilinguisme

sur la rapidité du traitement lexical rapporté dans les études antérieures, nous avons retenu l'hypothèse que les bilingues seraient moins rapides et moins précis que les monolingues dans une tâche de dénomination orale.

Globalement, l'ensemble des analyses vérifie les prédictions avancées. Plus précisément, elles confirment les relations positives entre le bilinguisme et la flexibilité cognitive, entre le bilinguisme et l'inhibition, ainsi qu'entre le bilinguisme et les performances en lecture et en mathématique. En outre, on ne retrouve aucune relation entre le bilinguisme et l'impulsivité cognitive. S'agissant de la vitesse et de la précision de la dénomination, les monolingues sont plus rapides et font moins d'erreurs que les bilingues à la tâche de dénomination orale. Au final, les résultats confirment les relations positives entre le bilinguisme et certaines composantes du fonctionnement exécutif (Park *et al.*, 2018). Cependant, ils ne confirment pas que ces bénéfices puissent compenser la moindre rapidité d'accès et de précision lexicale des bilingues comparativement aux monolingues (Bialystok et Feng, 2009).

Nos résultats corroborent également les relations avancées, d'une part entre l'inhibition, la mémoire de travail, la flexibilité cognitive et les performances mathématiques (Pupura, Schmitt *et al.*, 2017) et, d'autre part entre la mémoire de travail, la flexibilité cognitive et les performances en lecture (Engel de Abreu *et al.*, 2014). Nos résultats permettent aussi, et surtout, de préciser ces relations en comparant les performances des bilingues avec celles des monolingues sur les diverses habiletés et processus sous-jacents à ces apprentissages académiques.

S'agissant de la lecture, l'épreuve de lecture de la BELEA sollicite en effet fortement les processus métalinguistiques et phonologiques en évaluant distinctement la lecture de mots réguliers, de mots irréguliers et de pseudo-mots pour repérer les lecteurs en difficulté. Les scores obtenus par les bilingues sont significativement supérieurs à ceux des monolingues sur chaque liste de mots (respectivement : $t [88] = 9,10, p < .0001$; $t [88] = 8,25, p < .0001$; $t [88] = 10,45, p < .0001$). Ces résultats s'accordent avec l'interprétation de Bialystok *et al.* (2012) selon laquelle la supériorité des bilingues tiendrait à la co-activation de deux systèmes linguistiques qui développerait plus particulièrement la conscience métalinguistique et phonologique.

Concernant les mathématiques, la batterie ACE évalue quatre habiletés numériques : le calcul mental, l'écriture arithmétique, l'estimation et la résolution de problèmes. Selon le modèle du triple code (Dehaene et Cohen, 1995), le développement de ces habiletés repose sur l'interaction de deux systèmes de représentation et de traitement des nombres, l'un verbal et exact (le SNE ou système numérique exact), l'autre analogique et approximatif (le SNA ou système numérique approximatif). Dans notre étude, les scores obtenus par les bilingues sont significativement supérieurs à ceux des monolingues sur chacune de ces habiletés (respectivement : $t [81] = 14,25, p < .0001$; $t [80] = 5,44, p < .0001$; $t [86] = 5,15, p < .0001$; $t [78] = 10,28, p < .0001$). Nos résultats confirment que l'interaction des deux systèmes est plus efficace chez les bilingues que chez les monolingues. On peut toutefois supposer que les deux systèmes sont impactés différemment chez les bilingues et les monolingues. Du point de vue développemental, le SNA génère des représentations analogiques préverbaux fonctionnelles dès la petite enfance tandis que le SNE produit des représentations symboliques verbales qui s'élaborent progressivement avec l'apprentissage du comptage oral et de l'écriture arabe (Vilette, Mawart, Rusinek, 2010). De fait, le développement du SNA précède et prépare celui du SNE. Par conséquent, il est probable que les effets bénéfiques du bilinguisme se reportent davantage sur le SNE que sur le SNA. Cette hypothèse reste toutefois à vérifier, car aucune des épreuves de la batterie ACE n'évalue distinctement le SNA.

4.5. Limites de l'étude

Certaines limites méthodologiques sont inhérentes à cette étude. La constitution de deux groupes (monolingues et bilingues) comprenant chacun 45 participants limitent inévitablement la généralisation des résultats. Néanmoins, l'effectif est relativement important en regard des études menées auprès d'échantillons bilingues, et cela d'autant plus que la présente recherche porte sur une population d'enfants arabes difficilement accessible avec l'accord des parents. À notre connaissance, c'est la première étude de ce type réalisée auprès d'enfants libanais. Une étude comparable avec des contrôles d'enfants d'autres pays permettrait sans doute d'apprécier la spécificité des résultats observés.

Une autre limite concerne les tests d'évaluation des fonctions exécutives dans un contexte arabophone. Non seulement ces tests sont peu nombreux, mais il n'existe aucun étalonnage ni aucune norme de développement établie pour les enfants libanais. Dans un cadre expérimental, cette limite est surmontée avec les analyses statistiques effectuées sur un échantillon adéquat. Sur le plan clinique, qu'il s'agisse de l'évaluation ou de la prise en charge, elle est très contraignante. Un important travail d'adaptation des tests d'évaluation des fonctions exécutives auprès de populations libanaises reste donc à mettre en œuvre.

L'origine syrienne des monolingues constitue sans doute l'une des limites importantes de cette étude. Bien que les enfants monolingues soient nés au Liban et que les deux cultures (syrienne et libanaise) soient très proches (actuellement et historiquement aussi), on ne peut pas exclure *a priori* un impact de cette différence d'origine syrienne. Nous avons toutefois minimisé l'impact de cette différence en contrôlant strictement le niveau socio-économique dans les deux groupes. Rappelons en effet que tous les sujets (monolingues et bilingues) sont scolarisés en école semi-privée qui n'est accessible qu'aux familles aisées. C'est vraisemblablement ce qui explique d'une part, l'absence de différence entre les scores socio-économiques du groupe monolingue (moyenne = 9,93 ; écart-type = 3,83) et ceux du groupe bilingue (moyenne = 10,13 ; écart-type = 3,41), $t(88) = -0,26$, $p = 0,794$; et d'autre part la non significativité des relations observées entre le statut socio-économique et les performances exécutives et académiques (cf. Analyses préliminaires).

Conclusion

Les résultats de la recherche s'accordent avec ceux des études antérieures qui soulignent la spécificité des relations entre le bilinguisme, le fonctionnement exécutif et les performances académiques auprès d'une population d'enfants libanais. Plus précisément, ils confirment les relations positives déjà observées entre le bilinguisme et la flexibilité cognitive, entre le bilinguisme et l'inhibition, ainsi qu'entre le bilinguisme et les performances en lecture et en mathématique. En revanche, on ne retrouve pas de relation entre le bilinguisme et l'impulsivité cognitive (Nicolay et Poncelet, 2013). De même, on ne trouve pas de relation entre le bilinguisme et la vitesse de dénomination orale, et entre le bilinguisme et les erreurs de dénomination orale. En revanche, les monolingues s'avèrent plus rapides et font moins

d'erreurs que les bilingues dans une tâche de dénomination orale. La question reste toutefois posée des bénéfices que pourrait apporter aux monolingues une plus grande rapidité de dénomination orale comparativement aux bilingues ? Au final, la plupart des résultats soutiennent l'hypothèse des avantages du bilinguisme sur certaines composantes du fonctionnement exécutif (Park, Weismer et Kaushanskaya, 2018), mais ils ne vérifient pas que ces bénéfices puissent compenser la moindre rapidité d'accès et de précision lexicale des bilingues comparativement aux monolingues (Bialystok et Feng, 2009).

D'autres travaux sont nécessaires pour exploiter au niveau éducatif et rééducatif les relations entre le bilinguisme, les fonctions exécutives et les compétences académiques. Deux pistes de recherche sont envisagées. La première porte sur l'analyse des effets de chacune des composantes exécutives sur les différentes habiletés académiques. Plusieurs questions peuvent être soulevées. Par exemple, est-ce que ce sont les mêmes composantes exécutives qui sont en relation avec la réussite en mathématique et en lecture ? Est-ce que ces relations se rapportent aux habiletés mathématiques et de lecture dans leur ensemble ou à certains processus spécifiques à chaque domaine ? Par exemple au traitement phonologique pour la lecture ? Ou au traitement exact ou approximatif pour l'arithmétique ? En regard des effets différenciés du bilinguisme sur les FE, les comparaisons bilingues monolingues pourraient apporter un nouvel éclairage sur ces questions. Une seconde piste de recherche est celle des interventions rééducatives pour les enfants en difficultés d'apprentissage. De nombreux travaux ont déjà souligné les liens positifs entre le développement des fonctions exécutives et, d'une part, les diverses habiletés mathématiques (Geary et van Marle, 2016) et, d'autre part, les diverses habiletés langagières : lecture, écriture et expression/compréhension orale (Berninger, Abbott, Cook et Nagy, 2017). Une intervention rééducatrice qui s'appuierait sur les spécificités du fonctionnement exécutif des bilingues et des monolingues pourrait constituer une nouvelle forme de prise en charge des troubles d'apprentissage académique, tout au moins pour les troubles dont l'origine pourrait provenir du fonctionnement exécutif. Les résultats de travaux très récents (Gashap *et al.*, 2019) qui font ressortir les relations entre les troubles d'apprentissage spécifique en mathématiques (dyscalculie) et en lecture (dyslexie) confortent l'intérêt de développer cette piste de recherche. Nous aborderons cette problématique dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 5

Effets d'un entraînement intensif des fonctions exécutives sur les performances en lecture et en mathématique chez les enfants dyslexiques bilingues au Liban

La première étude a été conduite pour analyser et comparer les relations entre bilinguisme, fonctionnement exécutif et performances en lecture et mathématique des enfants libanais bilingues comparativement à celles d'enfants libanais monolingues d'origine syrienne (Al Naboulsi et Vilette, 2021). Les résultats font ressortir les liens entre le bilinguisme, certaines composantes exécutives (inhibition et flexibilité cognitive) et les performances en lecture et mathématique, ainsi qu'un effet délétère du bilinguisme sur la vitesse d'accès lexicale. A l'appui de ces résultats, la contribution présentée ici s'inscrit dans une visée rééducative. Ainsi, suite aux effets positifs et significatifs du bilinguisme sur les fonctions exécutives et les performances en lecture et en mathématiques des enfants bilingues libanais, nous tenterons ici de mettre évidence un lien entre l'entraînement des fonctions exécutives et les performances en lecture et en mathématiques chez les enfants libanais bilingues ayant des troubles spécifiques d'apprentissage. Il s'agit plus particulièrement d'exercer les processus de mémoire de travail, d'inhibition et de flexibilité cognitive parce que ces processus ont fait l'objet de nombreux travaux soulignant leur implication et leur importance dans la lecture (Alteimer, 2008) et les habiletés mathématiques (Mazeau, 2013). Ainsi, nous supposons qu'un entraînement régulier basé sur le langage oral bilingue de ces trois composantes pourrait améliorer les compétences dans le décodage phonologique et la vitesse de lecture.

Précisons ici qu'un constat clinique est à l'origine de cette seconde contribution expérimentale : les enfants libanais bilingues qui sont diagnostiqués avec un trouble spécifique d'apprentissage (très souvent la dyslexie), et qui de fait bénéficient de diverses prises en charge (orthophonique, psychologique, psychomotrice, scolaire), progressent très difficilement, voire ne progressent pas du tout en dépit des prises en charge proposées. L'expérience d'évaluation clinique nous révèle en outre que ces enfants présentent souvent un déficit du fonctionnement exécutif. L'objectif de la présente recherche est donc de vérifier si un entraînement intensif et adapté des trois composantes exécutives pourrait faire progresser les performances en lecture et mathématique des enfants libanais bilingues qui sont diagnostiqués avec une dyslexie, avec ou sans déficit dysexécutif. Plus précisément, il s'agit d'entraîner les fonctions de mémoire de travail, d'inhibition et de flexibilité cognitive et d'évaluer l'impact de cet entraînement sur les capacités académiques des enfants dyslexiques. Nous visons notamment à améliorer les performances au niveau des habiletés de lecture et des habiletés en mathématique.

Relativement à notre population d'enfants libanais bilingue (arabe/français ou arabe/anglais), plusieurs questions spécifiques peuvent être soulevées. Est-ce que les effets d'un entraînement des fonctions exécutives seront identiques chez les enfants dyslexiques avec ou sans trouble dysexécutif associé ? Quels sont les effets de cet entraînement sur les capacités d'inhibition, de flexibilité cognitive et de mémoire de travail elles-mêmes ? Enfin est-ce que les effets de cet entraînement seront limités au domaine entraîné (la lecture) ou se généraliseront-elles à un domaine non entraîné (les mathématiques) ?

En lien avec la littérature (analysée précédemment), trois hypothèses sont proposées en réponse à ces questions. Nous supposons qu'un entraînement des fonctions exécutives devrait davantage bénéficier aux enfants dyslexiques présentant un trouble dysexécutif qu'aux enfants dyslexiques ne présentant pas de trouble dysexécutif. Ensuite, nous supposons également que l'entraînement des fonctions exécutives devrait davantage impacter les capacités de mémoire de travail, de flexibilité cognitive et d'inhibition des enfants dyslexiques présentant un trouble dysexécutif que celles des enfants dyslexiques sans trouble dysexécutif. Enfin, on s'attend également que l'entraînement des fonctions exécutives basé sur des exercices au niveau du langage oral améliore non seulement les habiletés de lecture mais également les habiletés en mathématique ; et cela d'autant plus dans le groupe d'enfants dyslexiques présentant un trouble dysexécutif associé.

5.1. Méthode

5.1.1. Participants

Les participants ayant pris part à cette étude sont des enfants libanais bilingues, diagnostiqués dyslexiques, au centre CLES (Centre Libanais d'Éducation Spécialisé) qui prend en charge les enfants ayant des troubles spécifiques des apprentissages. Ces enfants sont intégrés dans des écoles normales et suivent tous un cursus normal. Les parents de ces enfants ont reçu une fiche synthétique expliquant l'étude (cf. annexe :12) puis étaient libres de participer à cette recherche ou de refuser (cf. annexe : 13). Les familles et la directrice du centre CLES ont alors accepté de collaborer à cette étude. Au total, 37 enfants ont été réunis pour constituer l'échantillon initial. Une autorisation écrite des parents a été demandée pour participer à l'étude. Une évaluation du niveau socio-économique des familles de chaque enfant

a été réalisée au moyen d'un questionnaire conçu par le Ministère des affaires sociales libanais (cf. annexe : 6). Pour terminer, un bilan médical a été demandée au centre CLES pour écarter les sujets qui présentent des troubles neurologiques, psychiatriques ou sensoriels. Suite à cette première étape, les enfants retenus ont été soumis à une série de 10 épreuves permettant d'évaluer leur efficience générale, la mémoire de travail, la flexibilité cognitive, l'inhibition motrice, l'inhibition cognitive, l'impulsivité cognitive, la lecture, les habiletés mathématiques et la dénomination rapide. Les évaluations ont été réalisées individuellement durant 7 séances d'une durée d'environ 30 minutes chacune. La durée totale moyenne de l'évaluation a donc été d'environ de 3 heures et demi pour chaque enfant. L'ensemble des épreuves a été présenté dans un ordre aléatoire. Ces passations ont été réalisées dans une pièce calme et isolée. Après cette première évaluation, 7 sujets ont été exclus de l'échantillon initial : quatre enfants ont obtenu un quotient intellectuel moyen faible et trois autres ont présenté un déficit auditif. L'évaluation a donc permis de sélectionner 30 enfants qui ont été réparti dans trois groupes (N=10 chacun). Le premier groupe (GE) est constitué de 10 élèves présentant une dyslexie/dysorthographe avec trouble dysexécutif associé. Le second groupe, de même taille, est constitué d'enfants ayant une dyslexie/dysorthographe non associée à un trouble dysexécutif (GC1). Le dernier groupe ayant une dyslexie/dysorthographe qui servira comme un groupe contrôle actif (GC2). Il est important de signaler que les groupes GE et GC1 ont suspendus les prises en charge au centre durant la période d'entraînement des fonctions exécutives.

5.1.2. Critères d'inclusion et d'exclusion

Deux bilans seront effectués : le premier avant l'entraînement (pré-test) et le second après l'entraînement (post-test). En regard des objectifs, nous avons retenu des enfants bilingues diagnostiqués avec une dyslexie/dysorthographe et suivis dans un centre spécialisé pour les troubles spécifiques des apprentissages depuis au moins une année. Ces enfants bénéficient au centre de la prise en charge psychomotrice, psychologique et orthophonique à raison d'une séance hebdomadaire. Tous les enfants sont issus d'un milieu socio-économique plutôt favorisé et sont âgés entre 8 et 11 ans. Ils poursuivent un cycle d'étude normal et aucun d'entre-eux ne présente une déficience intellectuelle, un antécédent neurologique ou psychiatrique, un problème psychologique ou un déficit sensoriel.

5.1.2.1. Constitution du groupe dyslexique (GC1)

Pour sélectionner les participants du GC1 (uniquement dyslexique sans trouble dysexécutif), une démarche d'évaluation pluridisciplinaire (psychologie, orthophonie et psychomotricité) a été réalisée. Dans un premier temps, une évaluation globale des capacités intellectuelles des participants avec la WISC-5 est effectuée par le psychologue du centre. Si l'enfant présente un quotient intellectuel bas, voire une déficience intellectuelle, il est exclu. Si l'enfant obtient un quotient intellectuel dans la norme, l'évaluation des fonctions exécutives est réalisée, suivie par une évaluation orthophonique, et enfin psychomoteur. C'est à partir de l'ensemble de ces évaluations que le diagnostic de la dyslexie/dysorthographe/dyscalculie sans trouble dysexécutif sera confirmé.

5.1.2.2. Constitution du groupe Dysexécutif (GE)

Pour la sélection des participants du groupe GE, la même démarche d'évaluation que le groupe GC1 a été réalisée. Toutefois, les participants du groupe GE doivent présenter en outre des difficultés exécutives (inhibition-mémoire de travail- flexibilité) en plus des troubles de la lecture. Soulignons que nous avons également relevé chez ces enfants des difficultés en mathématiques. Ainsi, le choix de ce groupe a porté sur les enfants ayant des résultats inférieurs à la moyenne au niveau des composantes exécutives, des performances en lecture et en mathématiques.

5.1.2.3. Constitution du groupe contrôle actif (GC2)

A partir de la même démarche d'évaluation, les enfants constituant le GC2 ont été diagnostiqués uniquement avec un trouble dyslexique. Par ailleurs, contrairement aux enfants des deux groupes précédant (GC1 et GE) qui bénéficient de l'entraînement exécutif, les enfants du groupe GC2 poursuivent la prise en charge classique (orthophonique, psychomotrice et psychologique) au centre CLES.

5.2. Matériel

L'efficacité cognitive de chaque enfant a été évaluée avec les échelles de Wechsler (WISC 5). Pour évaluer les fonctions exécutives (flexibilité, inhibition et l'impulsivité cognitive), les tests de la batterie Tea-CH (marche-arrête) et (monde contraire (cf. annexe : 14)) et le test d'appariement d'images ont été administrés. Concernant l'évaluation du langage oral, de l'accès lexical et des habiletés de lecture, la batterie BELEA (adaptation de la batterie Odedys de Jacquier-Roux *et al.*, 2005) et l'épreuve ELO-L (adaptation de L'ELO-F de Khomsi, 2001) ont été proposées (cf. annexe : 15). Enfin, pour l'évaluation des habiletés mathématiques, la batterie Zareki-R (Von Aster et Dellatolas, 2005) a été administrée (cf. annexe : 16).

5.2.1. Modalités de passation

Les passations sont individuelles et leur durée moyenne est d'environ trois heures 40 minutes réparties sur 7 séances pour chaque élève. Ces passations ont été réalisées dans une pièce calme et isolée au centre CLES lors des séances d'orthophonie, de psychologie et de psychomotricité. La passation du WISC-V et des épreuves du Tea-CH est effectuée par les psychologues des centres pendant 3 séances de 30 minutes chacune. Quant aux batteries ELO-L, BELEA et Zareki, la passation est réalisée par les orthophonistes pendant 3 séances de 30 minutes chacune. Enfin, les psychomotriciennes sont responsables de la passation du test d'appariement d'images (1 séance de 40 minutes). Concernant l'évaluation du statut socio-économique de l'enfant, les assistances sociales du centre sont en charge d'administrer les questionnaires. L'ensemble de ces épreuves a été présenté d'une façon aléatoire.

5.2.2. Description des épreuves

5.2.2.1. Efficacité cognitive

L'Echelle de Wechsler (WISC-V) permet d'évaluer le fonctionnement cognitif de l'enfant notamment dans le cadre des troubles des apprentissages. Il permet d'identifier également les difficultés afin de proposer des alternatives adaptées à l'enfant. 5 composantes de l'intelligence cognitive sont obtenues : l'indice de compréhension verbale, l'indice visuo-spatial, de raisonnement fluide, de mémoire de travail et de vitesse de traitement.

5.2.2.2. Flexibilité cognitive

L'épreuve « Mondes contraires » du Test d'Évaluation de l'Attention chez l'enfant (TEA-CH ; Manly *et al.*, 2006) a été administrée afin d'évaluer les capacités de flexibilité cognitive et du contrôle attentionnel chez les enfants. Durant cette épreuve, la consigne consiste à lire une série de chiffres le plus rapidement possible, allant de 1 à 2. Ils sont cependant plongés dans deux mondes différents : le monde à l'endroit et le monde à l'envers. Dans le monde à l'endroit, l'enfant doit lire les choses comme ils ont l'habitude de les dire, alors que dans le monde envers, ils doivent dire l'inverse. Plus précisément, dans le monde à l'endroit, les participants doivent lire la succession de chiffres, alors que dans le monde à l'envers, ils remplacent le chiffre 1 par le chiffre 2, et inversement. Cette épreuve sollicite fortement leurs capacités d'inhibition et de flexibilité. Dans cette tâche, seuls les temps de réponse sont calculés, puisque si l'enfant effectue des erreurs, l'expérimentatrice doit directement le corriger. Ainsi, un enfant qui commet des erreurs aura un temps de réponse plus important. La vitesse avec laquelle les enfants parviennent à terminer les items du monde à l'envers représente une bonne mesure de la flexibilité et du contrôle attentionnel (la note AA). En effet, la note AA correspond à la somme des temps de réponses pour les deux items du monde à l'envers.

5.2.2.3. Inhibition

L'épreuve « Marche-Arrête » de la Tea-CH (Manly *et al.*, 2006) a été utilisée pour évaluer les capacités inhibitrices des enfants. Il s'agit d'une épreuve de type stop-signal, durant laquelle les participants doivent effectuer un certain nombre de pas sur une feuille, en fonction de différents stimuli sonores. A chaque fois que le participant entend le stimulus sonore cible, il doit avancer d'un pas en laissant une trace sur la feuille de passation. Cependant, dès lors que le stimulus sonore cible est immédiatement suivi d'un bruit très fort (le stop signal), le participant ne doit pas effectuer un nouveau pas, et ne doit pas réaliser de trace sur la feuille avec son crayon. Cette tâche comporte 4 items d'exemple, afin de s'assurer que le participant a bien compris les consignes, puis 20 items tests. Chaque item est composé de trois à douze pas, et la vitesse à laquelle les stimuli sonores s'enchaînent augmente graduellement du premier au dernier item. Ainsi, cette épreuve permet d'évaluer les capacités d'inhibition des enfants, ces derniers devant inhiber leur mouvement graphique dès lors qu'ils entendent le stop signal. Cette épreuve aboutit à la note Y, correspondant au nombre d'items correctement effectués, sur une échelle de 0 à 20.

5.2.2.4. Impulsivité cognitive

L'épreuve d'appariement d'images (Albaret, Benesteau et Marquet-Doleac, 1999) met en évidence l'impulsivité cognitive et les troubles de l'attention chez les enfants de 8 à 13 ans. Le matériel renferme 11 planches (un exemple et 10 items) qui représentent des images significatives de la vie familiale et quotidienne. Il s'agit de retrouver parmi 6 dessins la copie identique à celle du modèle placé en haut de la page. La durée maximale de recherche est fixée à 60 secondes par planche. Si l'enfant n'identifie pas le modèle correct au premier essai, les erreurs commises seront comptabilisées jusqu'à la réussite ou la fin du temps imparti. La consigne consiste d'expliquer à l'enfant que c'est un peu comme le jeu de différence. Nous expliquons au participant qu'en haut de la page, il y a un modèle, et en dessous 6 copies, et dans celle-ci il n'y a qu'un seul qui est exactement pareil que le modèle. Le participant doit retrouver la copie qui est exactement comme le modèle. Nous précisons à l'enfant de prendre son temps et dès qu'il pense l'avoir trouvé, il nous le montre. Le premier exemple, ne compte pas, il s'agit de vérifier que l'enfant a bien compris les consignes. A noter qu'il faut expliquer à l'enfant qu'il va être chronométré et qu'il n'y a qu'une minute par dessin.

Pour la cotation, quatre variables sont prises en compte comme le temps de latence à la première réponse, le nombre total d'erreurs (E), le temps total de passation (TT) exprimé en seconde et le nombre de réussites dès la première réponse (R). A partir de ces mesures, un index d'impulsivité et un index d'exactitude sont calculés. L'index d'impulsivité correspond au nombre d'erreurs moyennes par minute et l'index d'exactitude est calculé en fonction du nombre de réponses exactes par minute. Les notes de ces deux index mettent en évidence le degré de l'impulsivité cognitive.

5.2.2.5. Capacités mathématiques

Afin d'évaluer les capacités mathématiques des participants, la batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant « ZAREKI-R » (Von Aster et Dellatolas, 2005) a été utilisée. Celle-ci permet une évaluation des différentes composantes intervenant dans le traitement des nombres et du calcul chez les enfants du CP au CM2. Elle est constituée de 12 épreuves : dénombrement de points, comptage oral à rebours, dictée de nombres, calcul mental oral (additions, soustractions et multiplications), répétition de chiffres, lecture de nombres, positionnement de nombres sur une échelle verticale, comparaison de deux nombres

présentés oralement, estimation visuelle de quantités, estimation qualitative de quantités en contexte, problèmes arithmétiques présentés oralement, et comparaison de deux nombres écrits. Grâce à cette pluralité d'épreuves, le ZAREKI-R permet l'évaluation d'un large éventail d'activités mathématiques. Ces épreuves aboutissent ainsi à douze scores. Une note totale est également calculée, correspondant à la somme de toutes les notes, sauf celle de l'épreuve de répétition de chiffres.

5.2.2.6. Capacités en lecture

La batterie BELEA est conçue pour la population libanaise. Elle comprend plusieurs épreuves évaluant la lecture, l'orthographe, les capacités métaphonologiques, les capacités morphologiques, les habiletés d'attention et de discrimination visuelle ainsi que les capacités phonologiques. Les épreuves de lecture des mots permettent d'évaluer les deux stratégies de lecture : la stratégie d'assemblage (ou voie sub-lexicale) et la stratégie d'adressage (ou voie lexicale). Cette épreuve comporte 3 listes de 20 items chacune ; deux listes de mots (fréquents et non fréquents) inspirées du modèle à double voie de Coltheart (1978) et une liste de logatomes (construits selon des critères spécifiques de patterns et de racines, inspirés du modèle de décomposition morphologique obligatoire de Boudelaa (2014)). Pour chaque liste, un score de précision et un temps de lecture sont relevés. Il convient de préciser que les listes sont divisées selon les niveaux de classe : une version (petits) ou niveau 1, adressée aux enfants de la classe de CE1 et une version (grands) ou niveau 2 adressée aux enfants de la classe de CE2, CM1 et CM2.

5.2.2.7. Dénomination rapide

Une autre épreuve a été choisie de la batterie BELEA : l'épreuve de dénomination rapide qui évalue la rapidité d'accès au lexique interne. Elle est composée d'une planche de 25 images de 5 dessins différents disposés de manière aléatoire que l'enfant doit dénommer le plus rapidement possible. Les auteurs du test soulignent que les mécanismes engagés dans cette tâche de dénomination rapide sont homologues à ceux de la lecture. Ils contribuent à dépister précocement les troubles de la lecture. Au cours de cette épreuve, le temps total de dénomination de 25 images est noté par seconde ainsi que le nombre d'erreurs commises par l'enfant.

5.2.2.8. Langage oral

Les capacités du langage oral sont évaluées au pré-test chez tous les participants. Pour cela, la batterie d'Évaluation du Langage Oral Libanais (ELO-L) a été choisie. Il s'agit d'une adaptation en libanais de la batterie Évaluation du Langage Oral (ELO) de Khomsi (2001). Cette batterie a été choisie pour l'évaluation du langage oral libanais puisqu'elle est le seul outil adapté et étalonné sur la population libanaise. La batterie teste les versants expressif et réceptif du langage des enfants libanais bilingues âgés entre 3 ans et 8 ans.

La durée de passation de cette batterie est de 25 à 45 minutes, dépendamment de la tranche d'âge à laquelle l'enfant appartient, de son rythme et de sa coopération. L'évaluation des constituants formels du langage en libanais (la phonologie, le lexique, la syntaxe et la morphosyntaxe) est réalisée à travers cinq épreuves : lexique en réception, compréhension orale, lexique en production, production d'énoncés et répétition de mots. L'épreuve lexique en production prend en compte, outre le libanais, le lexique multilingue de l'enfant : une réponse dans une langue seconde (français ou anglais) sera donc considérée. Cette batterie est adoptée par les orthophonistes de CLES afin d'évaluer le langage oral chez les enfants ayant des troubles spécifiques des apprentissages. La passation de cette batterie nous a permis d'écarter les enfants ayant des troubles du langage oral associés.

5.2.2.9. Échelle d'évaluation du statut socio-économique des parents

L'évaluation du statut socio-économique (SSE) a été réalisée à partir d'un questionnaire conçu par le Ministère des affaires sociales libanais pour déterminer le niveau socio-économique des familles isolées. Ce questionnaire a été adressé aux parents de chaque élève. Huit critères sont pris en compte pour calculer un score total (maximum 20 points) : la profession de la mère (max.=3), la profession du père (max.=3), les revenus du foyer (max.=3), l'estimation des biens (max.=3), la composition de la famille (max.=2), la valeur des biens immobiliers (max.=2), les caractéristiques du logement (max.=2) et les moyens de transport utilisés (max.=2).

5.3. Description générale de l'entraînement

Les séances d'entraînement sont individuelles et assurées dans les centres CLES. L'entraînement est réparti sur 36 séances et étalé sur 12 semaines à raison de 3 séances hebdomadaires de 10 minutes chacune. Les exercices ont été choisis en fonction des processus à entraîner (flexibilité mentale, inhibition cognitive et flexibilité ou les trois) et en limitant le recours au matériel écrit afin de ne pas mettre en échec les enfants en difficulté de lecture. En outre, tous les participants bénéficient exactement du même nombre de séances, avec les mêmes exercices présentés avec la même fréquence.

Au total, il y a 22 fiches qui sont présentées d'une façon ludique en respectant un principe de progression graduelle de difficulté. Ainsi, c'est seulement lorsque l'enfant réussit un niveau donné que nous passons au niveau supérieur. Chaque semaine, les tâches sont systématiquement renouvelées pour éviter l'automatisation et la routine. En outre, les personnes proches à l'enfant (sa famille) sont également sollicitées pour mettre en œuvre les fiches.

5.3.1. Les conditions d'entraînement

Chaque fiche doit être répétée trois fois par semaine. L'enfant doit réussir une fois la fiche pour pouvoir passer au niveau suivant (nouvelle fiche). Le critère de réussite est fixé à 10 réponses correctes sur 20 images. Par ailleurs, il faut s'assurer avant l'entraînement que l'enfant connaît les formes géométriques, les couleurs et les images choisis dans les deux langues (L1 et L2). Une fiche de passation est réalisée afin d'évaluer les performances durant l'entraînement. Sur cette fiche sont indiqués le nombre d'erreurs commises (sur 20) (cf. annexe : 17).

5.3.2. Matériel

Le programme d'entraînement comprend 22 fiches, composées de plusieurs exercices ludiques stimulant les fonctions exécutives (cf. annexe :18). Les activités proposées sont inspirées de certaines tâches adaptées spécialement pour l'entraînement des enfants de notre population.

- « *Ronds et carrés* » : planche de dénomination sur le principe de l'inhibition des réponses automatiques.
- « *Autre couleur* » : cartes représentant des objets dont la couleur fait partie de leur propriété (ex : une banane jaune)
- « *Dénomination rapide* » : cartes représentant différents objets, diverses formes etc.
- « *Classement* » : Jeu de classement de cartes selon différents critères
- « *Alternance* » : Exercice d'alternance chiffres/animaux/fruits

Selon les exercices, les fiches sont présentées à l'enfant de manière numérique ou en format papier. Certains exercices permettent l'entraînement spécifique des capacités inhibitrices, dans lesquels l'enfant doit répondre de façon inverse au stimulus présenté. Par exemple, nous demandons de répondre « un poisson bleu » lorsque nous présentons « un poisson rouge ». Cette activité constitue un entraînement à l'inhibition de réponses automatiques inadéquates. Les exercices de type « autre mot » ou « autre couleur » exigent également la mise en place du même processus d'inhibition. D'autres tâches permettent l'entraînement simultané des deux composantes : la flexibilité et l'inhibition. En nous inspirant des effets positifs du bilinguisme, des exercices de dénomination d'images ont été élaborés dans les deux langues (arabe/français) ou (arabe/anglais) où l'enfant doit nommer en L2 l'image si elle est coloriée en jaune, et en L1 si l'image est coloriée en rouge. De cette façon, l'enfant passe d'une langue à une autre au cours de la même tâche. Ce type d'exercice sollicite également fortement le processus d'inhibition. En outre, toutes les tâches d'entraînement impliquent la fonction de mémoire de travail du fait que l'enfant doit mémoriser plusieurs consignes. Rappelons que Diamond (2013) et Miyake (2000) soulignent que les fonctions exécutives sont fortement intriquées les unes avec les autres. De plus, pour de nombreux auteurs, plusieurs fonctions exécutives entraînées permet plus de transfert proche (Blakey et carroll, 2015 ; Dowsetl et Livesey, 2000) et lointain (Blakey et Carroll, 2015 ; Traverso *et al.*, 2019). Ainsi, les activités de cet entraînement font appel aux 3 composantes simultanément.

A signaler que les consignes sont expliquées de manière écrite et orale. De plus, pour chaque exercice, le nombre d'erreurs et les temps de réponse sont calculés. L'ensemble des fiches est rapporté dans les annexes (5).

5.3.2.1. Description détaillée d'une fiche d'entraînement *Inhibition*

Cette fiche comprend deux exercices, présentés numériquement, sur un ordinateur portable.

Exercice 1. Dans la première tâche, nous présentons à l'enfant une série d'images de fruits. Pour chaque fruit, l'enfant a pour consigne de dire la couleur du fond de l'image. Cependant, quand le fond est bleu ou jaune, l'enfant nomme la couleur de fruit. Trois items d'exemples sont présentés afin de s'assurer que l'enfant a bien compris et mémorisé les consignes. Un total de 20 fruits sont présentés. Cet exercice entraîne spécifiquement les capacités d'inhibition.

Exercice 2. Cette activité est composée d'une série de 45 chiffres allant de 0 à 9, écrits soit avec de l'encre bleue, soit avec de l'encre blanche. De plus, chaque chiffre se trouve dans un cercle d'une certaine couleur. L'enfant a pour consigne de lire les chiffres uniquement lorsqu'ils sont écrits avec de l'encre bleue, quelle que soit la couleur du cercle. Il doit aller le plus vite possible, en faisant le moins d'erreurs possibles. Cette activité sollicite principalement les capacités inhibitrices, puisqu'il faut inhiber la couleur des cercles, pour se concentrer sur la couleur de l'encre.

5.3.2.2. Description d'une fiche d'entraînement *Inhibition et Flexibilité*

Chaque fiche d'entraînement comprend deux exercices, présentés numériquement, sur un ordinateur portable.

Exercice 1. On présente à l'enfant différentes formes : des carrés, des ronds et des triangles. L'enfant a pour consigne de nommer la forme, ainsi que sa couleur. Cependant, les formes « carré » et « cercle » sont interverties. Ainsi, l'enfant doit dire carré lorsqu'il voit un cercle et inversement. De plus, les couleurs « bleu » et « rouge » sont également interverties. Ainsi, lorsque la forme est de couleur bleue, l'enfant doit dire que c'est rouge, et inversement. Par exemple, pour l'item représentant un cercle bleu, l'enfant doit dire « carré rouge ». Pour les items qui ne sont ni rouge, ni bleu, ni carré, ni cercle, l'enfant dit la forme et la couleur réelle. Par exemple, la réponse attendue pour un triangle vert sera « triangle vert », et celle attendue pour un rectangle bleu sera « rectangle rouge ». Six items d'exemple sont administrés pour familiariser l'enfant aux consignes, et s'assurer que celles-ci soient comprises et mémorisées. Après cela, une série de 20 formes est présentée à l'enfant. Dans cet exercice, l'enfant doit

alterner entre la double règle, et doit inhiber les réponses automatiques inadéquates, ce qui entraîne simultanément les composantes de flexibilité et d'inhibition.

Exercice 2. Cette tâche comprend des flèches de différentes couleurs et de différentes directions. Quand la couleur de la flèche est rouge l'enfant nomme la direction de cette flèche en arabe. Quand la couleur est bleue il doit nommer la direction en français. Nous vérifions au préalable la connaissance des notions de droite/gauche chez l'enfant. Cette tâche comporte une série de 8 flèches, mais de 77 flèches. Ces deux exercices permettent essentiellement un entraînement des composantes de flexibilité et d'inhibition.

5.3.2.3. Description d'une fiche d'entraînement *Flexibilité*.

Cette fiche comprend deux exercices d'entraînement, présentés numériquement, sur un ordinateur portable.

Exercice 1. Cette tâche s'inspire du « trail making test ». Il s'agit de présenter à l'enfant une série de lettres et une série de chiffres, dissimulés aléatoirement sur la page. Le participant doit alors relier les chiffres et les lettres en ordre croissant, en alternant chiffre et lettre. Il doit aller le plus vite possible en faisant le moins d'erreurs possibles. Un item d'exemple est proposé pour s'assurer que l'enfant comprend les consignes. L'item de test est ensuite administré. Cet exercice entraîne simultanément les composantes de flexibilité et d'inhibition.

Exercice 2. Cet exercice est composé d'une série d'animaux, de différentes couleurs. L'enfant doit alors mémoriser une double consigne. Lorsque la couleur de l'animal est bleue ou jaune, il doit dire le nom de l'animal en arabe. Cependant, lorsque la couleur de l'animal est rouge ou verte, l'enfant doit nommer l'animal en L2. Des items d'exemples sont présentés, afin de s'assurer que l'enfant connaît tous les noms d'animaux, et qu'il ait bien mémorisé les consignes. Au total, 40 animaux sont présentés.

5.3.2.4. Description d'une fiche d'entraînement *Flexibilité, Mémoire de travail et Inhibition*

Cette fiche comprend également deux exercices, présentés numériquement sur un ordinateur portable.

Exercice 1. Cet exercice est constitué d'une série d'animaux (chiens, chats, oiseaux). L'enfant doit mémoriser trois consignes. Quand il voit un chien, il doit dire « miaou ». Quand il voit un chat, il doit dire « cui- cui ». Quand il voit un oiseau, il doit dire « wouf ». La série est composée de 20 animaux, et il n'y a pas d'intrus. Cette tâche mobilise les trois composantes exécutives (mémoire de travail, inhibition et flexibilité).

Exercice 2. Le second exercice contient une série de lettres, écrits soit en encre blanche, soit en encre bleue. Chaque lettre est dans un cercle d'une certaine couleur. Les enfants doivent mémoriser trois règles. Ils doivent dire la couleur des cercles contenant la lettre A. Ils doivent également nommer les lettres qui sont dans un cercle rouge, ainsi que la couleur d'encre de ces lettres. Enfin, ils doivent dire les lettres de couleur bleue. Si aucune de ces règles n'est respectée, ils ne doivent rien dire (intrus ou distracteurs). Cet exercice permet ainsi d'entraîner les capacités d'inhibition, de flexibilité et de la mémoire de travail.

5.4. Résultats

Pour le traitement des données, deux types d'analyse ont été effectuées. Tout d'abord une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée sur les scores exécutifs du pré-test pour analyser les différences inter-groupes. Puis une analyse de la covariance (ANCOVA) a été réalisée en traitant les scores flexibilité, inhibition et mémoire de travail du pré-test comme facteur covariant et les scores flexibilité, inhibition et mémoire de travail du post-test comme variable dépendante. Cette seconde analyse a été réalisée dans la mesure où les performances exécutives au pré-test varient significativement entre les groupes.

Le tableau 5 présente les moyennes de performance à chaque épreuve du pré-test et du post-test dans les trois groupes (GE : groupe expérimental ; GC1 et GC2 : groupes contrôles).

Tableau 5: Scores (ou temps) moyens au pré-et post-tests dans les groupes GE, GC1, et GC2

	GE		GC1		GC2	
	Pré-	Post-	Pré-	Post-	Pré-	Post-
Flexibilité (FLE)	55,40	46,00	40,20	33,20	47,10	44,70
Inhibition (INH)	11,30	17,90	15,00	17,80	12,00	13,00
Mém. de travail (MDT)	9,80	15,00	10,70	14,80	12,00	12,14
Impulsivité (IMP)	2,89	1,71	2,07	1,27	2,75	2,43
Dénomination (DEN)	37,90	30,50	43,00	27,20	40,89	35,30
Lecture (LEC)	5,67	11,17	7,03	10,33	5,79	6,87
Mathématique (MAT)	81,00	121,90	97,05	128,90	88,90	101,80

Les données sont analysées en fonction des hypothèses posées. Tout d'abord, nous avons évalué les effets de l'entraînement exécutif sur les habiletés exécutives elles-mêmes. Pour cela, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée sur les scores exécutifs du pré-test pour analyser les différences inter-groupes. Dans la mesure où les performances exécutives au pré-test varient significativement entre les groupes, une analyse de la covariance (ANCOVA) a été réalisée en traitant les scores FLEX, INH et MDT du pré-test comme facteur covariant et les scores FLEX, INH et MDT du post-test comme variable dépendante. Enfin, nous avons évalué séparément les effets attendus de l'entraînement sur l'impulsivité (IMP).

La même démarche a ensuite été reprise pour tester les effets de l'entraînement exécutif sur les performances académiques en lecture et en mathématique. Une analyse de la covariance (ANCOVA) a été réalisée en traitant les scores LEC et MAT du prétest comme facteur covariant et les scores LEC et MAT du post-test comme variable dépendante. Cette analyse nous a paru nécessaire dans la mesure où les scores LEC et MAT au pré-test diffèrent sensiblement entre les groupes (voir Tableau 5), même si les différences observées ne sont pas statistiquement significatives. Enfin, nous avons évalué séparément les effets attendus de l'entraînement sur la vitesse de dénomination (DEN).

5.4.1. Effets de l'entraînement sur les performances exécutives

Une ANOVA factorielle a été réalisée sur les scores exécutifs du pré-test en prenant comme prédicteur catégoriel les facteurs groupe (GE, GC1, GC2) et genre (F, G). Cette analyse révèle un effet principal significatif du facteur groupe ($F(2, 24)=517,62, p<.0001$) et aucun effet significatif du facteur genre ($F(1, 24)=0,101, ns$), ni de l'interaction groupe x genre ($F(2, 24)=2,23, ns$). Comme attendu, toutes les comparaisons effectuées entre les groupes deux à deux sont significatives sur les scores FLEX (GE *versus* GC1 : $F(1, 24)=26,11, p<.001$; GE *versus* GC2 : $F(1, 24)=9,85, p<.004$; GC1 *versus* GC2 : $F(1, 24)=4,85, p<.04$). Les comparaisons calculées sur les scores INH révèlent une différence significative entre GE et GC1 ($F(1, 24)= 7,20, p<.02$) et entre GC1 et GC2 ($F(1, 24)= 3,72, p<.06$). Toutes les autres comparaisons intergroupes sur les scores exécutifs ne sont pas statistiquement significatives au seuil $p<.05$.

Une analyse de la covariance (ANCOVA) a été réalisée sur chaque score exécutif du post-test (FLEX, INH et MDT) en prenant comme prédicteur continu les scores exécutifs du prétest et comme prédicteur catégoriel le facteur groupe. Pour les scores FLE, il ressort un effet significatif de la covariable FLE ($F(1, 26)=14,17, p<.0001$) et un effet à tendance significative du facteur groupe ($F(2, 26)=2,61, p<.09$). Les comparaisons intergroupes deux à deux ne sont pas significatives au seuil $p<.05$. Pour les scores INH, il ressort un effet significatif de la covariable INH ($F(1, 26)=43,38, p<.0001$) et un effet significatif du facteur groupe ($F(2, 26)=18,64, p<.0001$). Les comparaisons intergroupes deux à deux sont toutes significatives (GE *versus* GC1 : $F(1, 26)= 7,05, p<.02$; GE *versus* GC2 : $F(1, 26)=37,14, p<.0001$; GC1 *versus* GC2 : $F(1, 26)=9,37, p<.005$). Pour les scores MDT, il ressort un effet significatif de la covariable MDT ($F(1, 26)=16,36, p<.0004$) et un effet significatif du facteur groupe ($F(2, 26)=5,47, p<.02$). Les comparaisons intergroupes deux à deux sont significatives entre GE et GC2 ($F(1, 26)=10,56, p<.003$) et entre GC1 et GC2 ($F(1, 26)=4,35, p<.05$) mais pas entre GE et GC1 ($F(1,26)=1,26, ns$). Comme l'illustre clairement la figure 17, l'évolution des scores FLE, INH et MDT entre le prétest et le post-test est particulièrement élevée dans les groupes GE et GC1 comparativement au groupe GC2.

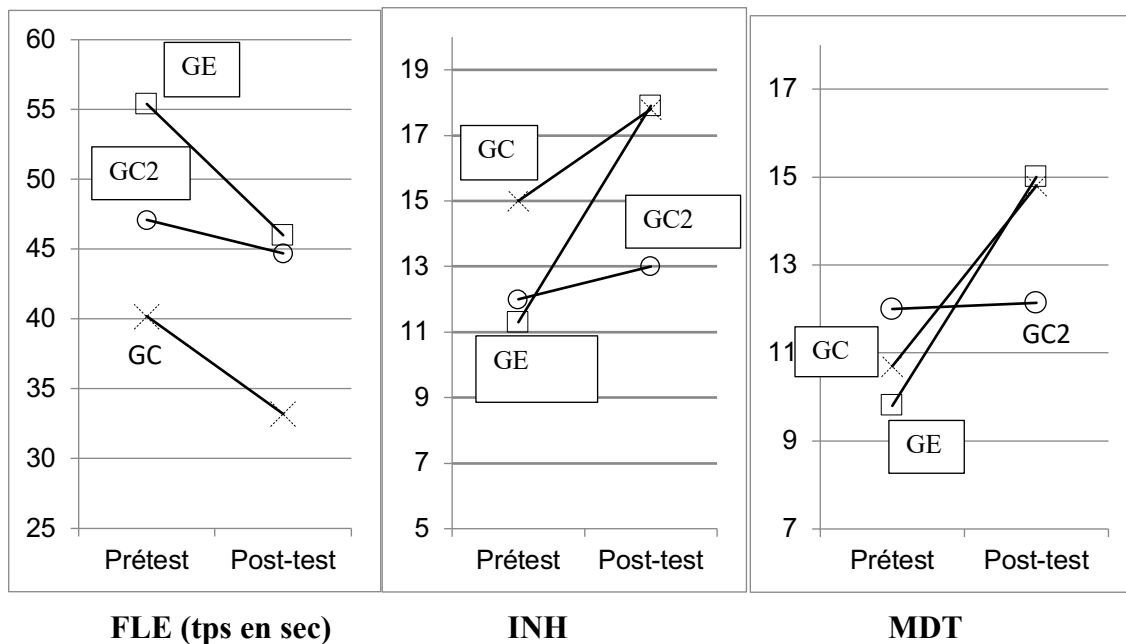


Figure 17: Évolution des scores FLEX, INH et MDT entre le prétest et le post-test dans chaque groupe (GE: $\square$; GC: X ; GC2 :O)

Pour évaluer les effets de l'entraînement sur l'impulsivité (IMP), nous avons utilisé le t de student pour échantillons appariés. Entre le prétest et le post-test, l'impulsivité diminue significativement dans le groupe GE ($t(9)=3,89$, $p<.004$) et de manière tendancielle significative dans le groupe GC1 ($t(9)=1,91$, $p<.09$). En revanche, il n'y a pas de changement significatif dans le groupe GC2 ($t(9)=1,03$, ns).

En résumé, les analyses précédentes montrent qu'au pré-test les scores FLE et INH du groupe expérimental (GE) sont statistiquement inférieurs à ceux des groupes contrôles (GC1, GC2) tandis que les scores MDT des trois groupes sont équivalents. Au post-test, l'amélioration des scores FLE, INH, MDT et IMP est significativement supérieure dans les deux groupes entraînés (GE et GC1) comparativement au groupe non entraîné (GC2).

5.4.2. Effets de l'entraînement sur les performances académiques

Une ANOVA factorielle a été réalisée sur les scores académiques du pré-test en prenant comme prédicteur catégoriel les facteurs groupe (GE, GC1, GC2) et genre (F, G). Cette analyse ne révèle aucun effet significatif du facteur groupe ($F(4, 23)=0,37$, ns) et aucun effet significatif du facteur genre ($F(2, 23)=0,21$, ns), ni de l'interaction groupe x genre ($F(4, 23)=0,49$, ns). Comme attendu, aucune comparaison effectuée entre les groupes deux à deux n'est significative sur les scores LEC (GE *versus* GC1 : $F(1, 24)=0,25$, ns ; GE *versus* GC2 : $F(1, 24)=0,01$, ns ; GC1 *versus* GC2 : $F(1, 24)=0,45$, ns), ni sur les scores MAT (GE *versus* GC1 : $F(1, 24)=1,18$, ns ; GE *versus* GC2 : $F(1, 24)=0,07$, ns ; GC1 *versus* GC2 : $F(1, 24)=0,82$, ns). Les scores des trois groupes sont donc statistiquement équivalents aux épreuves LEC et MAT en dépit de différences substantielles, notamment dans le groupe GC1 qui performe mieux en LEC et MAT que les groupes GE et GC2 (Tableau 5).

Une analyse de la covariance (ANCOVA) a donc été réalisée sur chaque score académique du post-test (LEC et MAT) en prenant comme prédicteur continu les scores académiques du prétest et comme prédicteur catégoriel le facteur groupe. Pour les scores LEC, il ressort un effet significatif de la covariable LEC ($F(1, 26)=87,71$, $p<.0001$) et un effet significatif du facteur groupe ($F(2, 26)=9,06$, $p<.0002$). Les comparaisons intergroupes deux à deux sont toutes significatives (GE *versus* GC1 : $F(1, 26)=4,28$, $p<.05$; GE *versus* GC2 : $F(1, 26)=18,13$, $p<.0002$; GC1 *versus* GC2 : $F(1, 26)=4,64$, $p<.04$). Pour les scores MAT, il ressort un effet significatif de la co-variable MAT ($F(1, 26)=28,89$, $p<.0001$) et un effet significatif du facteur groupe ($F(2, 26)=7,33$, $p<.003$). Les comparaisons intergroupes deux à deux sont significatives entre GE et GC2 ($F(1, 26)=11,96$, $p<.002$) et entre GC1 et GC2 ($F(1, 26)=9,57$, $p<.005$) mais pas entre GE et GC1 ($F(1, 26)=0,12$, ns). Comme l'illustre la figure 18, l'évolution des scores LEC et MAT entre le prétest et le post-test est particulièrement élevée dans les groupes GE et GC1 comparativement au groupe GC2. On notera l'évolution particulièrement importante de GE en LEC comme en MAT.

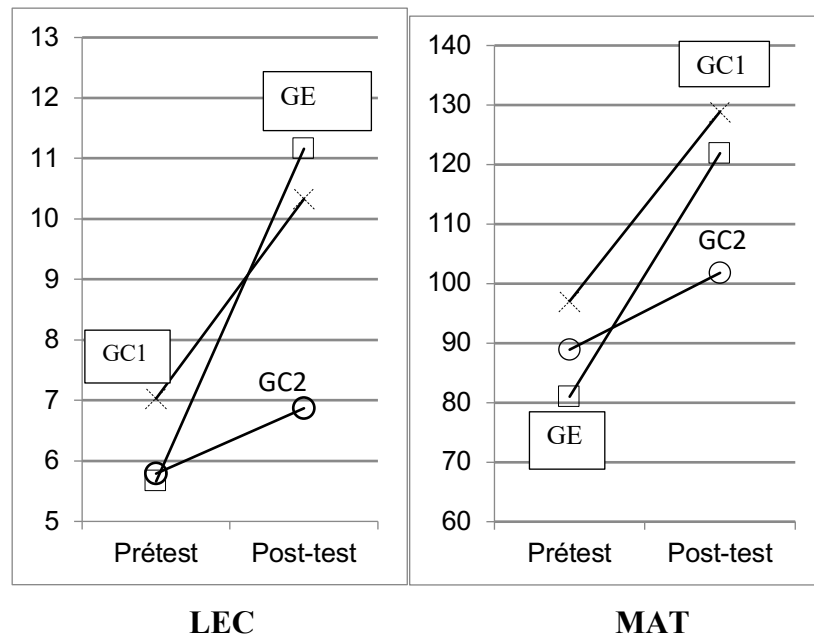


Figure 18: Évolution des scores LEC et MAT entre le prétest et le post-test dans chaque groupe (GE : □ ; GC1 : X ; GC2 : O)

Pour évaluer les effets de l'entraînement sur la vitesse dénomination (DEN), nous avons utilisé le t de student pour échantillons appariés. Entre le prétest et le post-test, la vitesse de dénomination diminue significativement dans les trois groupes (GE : $t(9)=3,25$, $p<.009$; GC1 : $t(9)=5,26$, $p<.001$; GC2 : $t(9)=4,14$, $p<.003$).

En résumé, les analyses précédentes indiquent qu'au pré-test les scores LEC et MAT sont statistiquement équivalentes dans les trois groupes (GE, GC1, GC2). Au post-test, l'amélioration des scores LEC et MAT est significativement supérieure dans les deux groupes entraînés (GE et GC1) comparativement au groupe non entraîné (GC2). Cette évolution est plus sensible encore dans le groupe GE comparativement au groupe GC1. En revanche, la vitesse de dénomination augmente significativement dans les trois groupes.

5.5. Discussion

Cette étude avait pour objectif de vérifier les effets d'un entraînement intensif et adapté des trois composantes exécutives sur les fonctions exécutives et les performances académiques des enfants libanais bilingues dyslexiques. Plus précisément, il s'agit d'entraîner les fonctions de mémoire de travail, d'inhibition et de flexibilité cognitive et d'évaluer l'impact de cet entraînement sur les performances en lecture et en mathématiques des enfants dyslexiques. Nous visons notamment à améliorer les performances au niveau des habiletés de lecture et des habiletés en mathématique. Trois groupes d'enfants ont été choisis (GE, GC1, GC2). Les deux groupes GE et GC1 ont bénéficié du même entraînement pendant 3 mois à raison de trois séances hebdomadaires.

En lien avec la littérature, nous avons fait l'hypothèse qu'un entraînement des fonctions exécutives basé sur des tâches de dénomination orales d'images dans les deux langues devrait davantage bénéficier aux enfants dyslexiques présentant un trouble dysexécutif qu'aux enfants dyslexiques ne présentant pas de trouble dysexécutif. Ensuite, nous avons supposé que l'entraînement des fonctions exécutives devrait davantage impacter les capacités de mémoire de travail, de flexibilité cognitive et d'inhibition des enfants dyslexiques présentant un trouble dysexécutif que celles des enfants dyslexiques sans trouble dysexécutif. Enfin, il s'agissait de vérifier les effets de transfert différé c'est à dire sur les performances académiques notamment la lecture et les habiletés en mathématiques et cela d'autant plus dans le groupe d'enfants dyslexiques présentant un trouble dysexécutif associé.

Pour chaque enfant, les effets sur les fonctions cognitives entraînées ont été examinées, ainsi que les effets de transfert sur les performances académiques notamment la lecture, les mathématiques et à la dénomination rapide.

Globalement, l'ensemble des analyses vérifie les hypothèses avancées. Plus précisément, elles confirment les effets positifs d'un entraînement basé sur des tâches de dénomination dans les deux langues sur les composantes exécutives. En fait, les résultats en post-test révèlent des améliorations significativement supérieures au niveau des scores FLE, INH, MDT et IMP dans les deux groupes entraînés (GE et GC1) comparativement au groupe non entraîné (GC2). Au final, les résultats obtenus confortent les travaux de Bargue (2013), ainsi que ceux de Alloway *et al.* (2013) et ceux de Noël (2007). Rappelons que Bargue (2013) a évalué l'effet d'un entraînement sur deux composantes (flexibilité et inhibition). L'auteure ainsi a relevé des

améliorations significatives au niveau de ces deux processus et un effet de transfert a été rapporté au niveau de la lecture. Toutefois, les résultats ne peuvent pas être généralisés en raison de la faible taille de l'échantillon (4 enfants). Concernant les travaux de Alloway et ses collaborateurs (2013), les auteurs ont entraîné uniquement une composante exécutive (la mémoire de travail) chez des enfants présentant des difficultés d'apprentissage. Les auteurs signalent des améliorations au niveau de la tâche entraînée, sans que celles-ci soient maintenues huit mois après l'intervention. Notons que l'étude de la littérature met en avant l'importance de l'entraînement simultanée des trois composantes afin d'obtenir davantage un transfert proche (Blakey et Carroll, 2015) et lointain (Traverso *et al.*, 2019). Dans ces deux études, la durée et le nombre des composantes exécutives entraînées n'ont pas été respectés ce qui peut expliquer le manque de transfert à long terme.

Par ailleurs, entre le prétest et le post-test, l'impulsivité diminue significativement dans le groupe GE ($t(9)=3,89$, $p<.004$) et de manière tendanciellement significative dans le groupe GC1 ($t(9)=1,91$, $p<.09$). En revanche, il n'y a pas de changement significatif dans le groupe GC2 ($t(9)=1,03$, ns).

Concernant les effets de transfert sur les performances scolaires notamment la lecture et les mathématiques, cette étude a permis de mettre en évidence cet effet sur les deux domaines. En fait, les scores LEC et MAT obtenus sont significativement supérieures dans les deux groupes entraînés (GE et GC1) comparativement au groupe non entraîné (GC2). Cette évolution est plus sensible encore dans le groupe GE comparativement au groupe GC1. En revanche, la vitesse de dénomination augmente significativement dans les trois groupes. Ainsi, nos résultats corroborent également les relations avancées entre l'entraînement de la mémoire de travail et les performances en lecture (Akbari *et al.*, 2019), l'entraînement de la flexibilité cognitive et l'inhibition sur la lecture (Bargue, 2013) et les mathématiques (Mazeau, 2013). A signaler que la durée de l'entraînement des 3 fonctions exécutives adoptée au cours de ce travail de thèse (3 séances hebdomadaires pour 11 mois) peut expliquer les effets de transfert proche obtenus.

Dans l'ensemble, ce travail de recherche souligne la nécessité d'un entraînement ciblé et intensif des fonctions exécutives basé sur le langage oral dans un contexte bilingue afin d'améliorer à la fois les habiletés en lecture, les compétences mathématiques et les fonctions exécutives.

5.6. Limites relatives à la méthodologie employée

Plusieurs limites renvoient à la méthodologie mise en œuvre dans cette étude, et peuvent être mises en avant à partir des recommandations rapportées par Diamond et Ling (2016) au sujet de l'entraînement des fonctions exécutives. Ces auteurs mettent en avant l'importance de l'évaluation du niveau de base des fonctions exécutives avant et après toute intervention. Cela permet de quantifier les différences exécutives entre les deux temps de mesure et donc de quantifier les effets de l'entraînement. Ces conditions ont été respectées dans la présente étude. Toutefois, une troisième réévaluation n'a pas pu être effectuée pour tester la stabilité des effets.

Diamond et Ling (*Ibid.*) recommandent d'inclure un groupe contrôle actif, bénéficiant également d'une remédiation, différente de celle du groupe expérimental, afin de pouvoir comparer les performances du groupe expérimental à celles d'un groupe témoin équivalent. Cela nécessite cependant de s'assurer que les activités proposées aux différents groupes durant la remédiation soient équivalentes sur les plans motivationnels et cognitifs. La présence d'un groupe contrôle actif permet ainsi de contrôler les facteurs motivationnels ou sociaux, pouvant influencer les performances des participants, et pouvant créer des différences entre les groupes non dues à l'intervention. Dans la présente étude, un groupe contrôle actif est effectivement inclus. Les enfants de ce groupe sont également dyslexiques ; de plus, ils ont été soumis aux mêmes tests et ont bénéficié des prises en charge classiques au centre. En ce qui concerne l'intégration d'un groupe contrôle passif, bien que de nombreux auteurs recommandent de l'intégrer dans le protocole expérimental, les participants de ce groupe ne diffèrent pas seulement par l'absence de prise en charge en soi mais également par une moindre interaction et moindre échange avec les évaluateurs, les expérimentateurs.

Par ailleurs, Diamond et Ling (2016) conseillent d'adopter les programmes d'entraînement adaptatifs, dans lesquels le niveau de difficultés des exercices augmente au fur et à mesure que les performances du participant progressent. Les tâches proposées doivent ainsi être stimulantes, tout en demeurant réalisables par la personne. La présente recherche a pris en considération cette précaution méthodologique. Ainsi, par exemple, la première fiche d'entraînement était très difficile pour les participants et des adaptations étaient nécessaires par rapport au niveau des enfants afin de ne pas les mettre en situation d'échec. Toutefois, ces adaptations ne permettaient pas de réussir facilement les fiches et les participants n'atteignaient toujours pas le critère de réussite au premier essai. Ces fiches ont donc été reprises, parfois sur plusieurs séances, jusqu'à l'atteinte du critère de réussite.

Pour terminer, et toujours selon Diamond et Ling (2016), les travaux visant à entraîner les fonctions exécutives doivent inclure un grand nombre de participants et être répartis aléatoirement entre les groupes contrôle et expérimental. Ce point méthodologique a été respecté. Toutefois chaque groupe est composé uniquement de 10 enfants, ce qui limite évidemment la généralisation des résultats et les conclusions de cette recherche. Une réplication de l'étude avec un plus grand nombre de participants serait donc nécessaire.

Rappelons que pour Diamond (2013), l'entraînement proposé doit être suffisamment répétitif et intensif. A ce sujet, Jaeggi *et al.* (2008) révèlent également que les effets de transfert dépendent essentiellement de la durée de l'entraînement. Ainsi, il est possible qu'avec un entraînement de plus longue durée, des effets de transfert au domaine des mathématiques et de la lecture peuvent être relevés. Par ailleurs, si l'on regarde les caractéristiques des études de remédiation évoquée en introduction, l'entraînement exécutif s'étend généralement de 4 à 8 semaines, avec 2 à 5 séances hebdomadaires. Notre étude ne semble donc pas différer des autres études sur le plan de la durée et de la fréquence de l'entraînement exécutif. Notre programme d'entraînement a duré trois mois, avec 3 séances hebdomadaire et les effets de transfert sur la lecture et les mathématiques ont été observés dans les deux groupes. Toutefois, il nous a été impossible de réévaluer les enfants après le post test pour observer le maintien des acquis.

Rappelons que le manque d'outils d'évaluation des fonctions exécutives est crucial au Liban. Les épreuves ne sont pas étalonnées par rapport à la population libanaise, exceptée la batterie « Fée » que nous avons mentionnée dans la première étude. Face à cette situation problématique, notre choix a porté sur la batterie TEA-Ch dans la mesure où les épreuves proposées dans cette batterie sont proches de la vie quotidienne, et surtout aussi parce qu'elle est disponible et utilisée par les spécialistes du centre.

Rappelons enfin que les différentes composantes exécutives sont interdépendantes, il est difficile de concevoir des tâches spécifiques pour mesurer une fonction en particulier. Il est alors possible que les épreuves adoptées pour mesurer les capacités de flexibilité ou d'inhibition font appel en réalité à plus d'un mécanisme exécutif. Par exemple, dans l'épreuve « mondes contraires » de la TEA-Ch, les capacités de contrôle attentionnel sont également sollicitées. De même, l'épreuve « marche-arrête » qui mesure les capacités inhibitrices, implique aussi les capacités d'attention auditive et mesure ainsi différentes fonctions cognitives. Cette interdépendance des composantes exécutives affecte également les tâches d'entraînement.

Conclusion générale

Le bilinguisme est un phénomène en expansion et devient inéluctable dans nos sociétés modernes en raison des flux migratoires de plus en plus importants. Longtemps controversé, le bilinguisme demeure toujours un phénomène de débat pour les chercheurs. L'intérêt de son étude n'en est pas moins élevé et le fonctionnement exécutif des personnes bilingues suscite de nombreux travaux. Pour autant, la prise en charge des enfants libanais bilingues ayant des troubles spécifiques des apprentissages, y compris dans le langage, reste un domaine peu exploré.

Cette thèse avait pour objectif d'explorer les effets du bilinguisme sur les fonctions exécutives et les performances scolaires des enfants libanais bilingues. Dans ce contexte, notre premier défi a été de mieux comprendre la nature des relations qu'entretiennent le bilinguisme, le fonctionnement exécutif et les performances scolaires, notamment en lecture et en mathématique, chez des enfants bilingues libanais. Une concentration sur les effets du bilinguisme sur la flexibilité et l'inhibition cognitive a été effectuée en premier temps. Nous avons exploré ensuite les répercussions sur la lecture et les habiletés mathématiques. Notre second défi a été d'exploiter le rôle des fonctions exécutives des enfants bilingues présentant des troubles d'apprentissage sévères afin de proposer une meilleure prise en charge. Ce double défi a été nourri à la fois par les particularités du bilinguisme libanais et par ses effets attendus sur le fonctionnement exécutif et les performances scolaires des enfants avec TSA. Ces contributions théoriques et pratiques, profondément entrecroisées sont discutées dans cette dernière partie.

Première contribution expérimentale : Effet du bilinguisme sur les fonctions exécutives et les habiletés scolaires chez les enfants au Liban

Effets du bilinguisme sur les fonctions exécutives

L'étude de la littérature révèle la convergence de nombreuses études en faveur des effets positifs du bilinguisme sur le développement des principales composantes du fonctionnement exécutif telles que la mémoire de travail, l'inhibition, la flexibilité et la planification (Dahlgren, Almén et Dahlgren-Sandberg, 2017 ; Kechichian, 2021) et cela à tous les âges, et quelles que soient les langues adoptées (Kapa et Colombo, 2013). Toutefois, les conclusions sont nuancées car des études récentes ne retrouvent pas de différences entre les bilingues et les monolingues lorsqu'on contrôle certains biais, ou rapportent un avantage très faible chez les bilingues. En

outre, plusieurs auteurs contestent les avantages du bilinguisme et soulignent même des effets délétères (Nichols *et al.*, 2020 ; Paap *et al.*, 2015).

La première étude de ce travail de thèse a ciblé les relations entre bilinguisme, fonctionnement exécutif et performances scolaires en lecture et en mathématiques auprès des enfants bilingues et monolingues libanais âgés de 8 à 10 ans. Nous avons précisé tout d'abord les relations entre le bilinguisme et les FE, et plus particulièrement de l'inhibition et de la flexibilité cognitive. Ensuite, il s'agit d'explorer les effets du bilinguisme sur la dénomination rapide, le niveau de lecture et les habiletés mathématiques. Nous avons apporté des réponses aux questions soulevées. Dans l'ensemble, les résultats de la première étude sont encourageants et ont permis de renforcer l'hypothèse selon laquelle le bilinguisme a des effets positifs sur l'inhibition, la flexibilité cognitive. Les résultats confirment également l'hypothèse selon laquelle les bilingues sont moins impulsifs que les monolingues. Toutefois, ces résultats ne corroborent pas avec certaines études mentionnées dans la littérature telle que celle de Nicolay et Poncelet (2013) qui ne rapportent aucun bénéfice du bilinguisme sur l'impulsivité cognitive et l'inhibition de réponses.

L'effet du bilinguisme sur les fonctions exécutives est un exemple de la manière dont une expérience ordinaire se développe et modifie les réseaux cognitifs et les capacités cognitives. Les enfants libanais bilingues qui ont participé à cette première étude ne sont pas devenus bilingues grâce à un talent antérieur, mais parce que leur système scolaire inclut deux langues, et leurs systèmes cognitifs ont de ce fait évolué différemment de ceux des monolingues. En effet, de nombreux travaux sur le bilinguisme rapporte une preuve incontournable de la plasticité des systèmes cognitifs en réponse à l'expérience (Bialystok, 2011a, 2012). Pour l'auteure, toute expérience telle que le bilinguisme laisse sa trace et crée une modification dans notre cerveau. Toutefois, les travaux ciblant les fonctions exécutives chez les personnes adultes bilingues sont rares. Ainsi, il serait judicieux d'explorer les avantages du bilinguisme dans la préservation des capacités cognitives avec l'âge.

L'étude de la littérature a soulevé une meilleure vitesse de dénomination orale d'images chez les monolingues par rapport aux bilingues. De plus, les monolingues font moins d'erreurs Bialystok (2011). Les résultats obtenus à la première contribution confirment l'hypothèse selon laquelle les bilingues sont moins rapides et moins performants lors d'une tâche de dénomination orale. En fait, la tâche de dénomination orale se base sur le bagage lexical de l'enfant. Les travaux réalisés dans ce domaine au Liban relèvent différents rythmes d'acquisition du lexique selon les langues apprises et selon l'âge de l'enfant. Ainsi, Zablit (2007) précise que les jeunes libanais bilingues présentent le même lexique français que les petits français. Toutefois, les grands bilingues libanais ont un score français significativement inférieur que les francophones. Ces résultats ont été expliqués par le fait que le vocabulaire chez les petits est plus restreint ce qui justifie l'absence de différence entre ces deux groupes. En contrepartie, cette étude ne signale pas de différences en comparant les scores arabophones entre les deux groupes (Zablit, 2007). Ainsi, un score lexical réduit en français et le passage d'une langue à l'autre (code switching) au cours de la tâche de dénomination orale peut expliquer cette lenteur chez les bilingues. Selon les données de la littérature, la capacité de dénomination rapide et automatique constitue un facteur prédictif et significatif des compétences en lecture (Plaza et Raynaud 2007 ; Castel 2008 ; O'Connor et Jerkins, 1999, cités par Ecalle et Magnan, 2010). Ainsi, les monolingues doivent avoir en principe de meilleures performances en lecture que les bilingues. Par ailleurs comment peut-on expliquer les meilleures performances obtenues en lecture chez les bilingues malgré leur lenteur au niveau de la vitesse lexicale ? En effet, outre que la dénomination rapide, les capacités de flexibilité et d'inhibition jouent également un rôle essentiel dans la lecture (Colé, Duncan, et Blaye, 2014 ; Lubin *et al.*, 2016). Certains travaux mettent en avant le rôle assuré par la flexibilité cognitive dans le décodage des informations et la compréhension en lecture (Engel de Abreu *et al.*, 2014). Pour d'autres, la flexibilité cognitive assure l'alternance entre le traitement des codes phonologiques pour la reconnaissance des mots écrits et les informations sémantiques pour la compréhension du texte (Cartwright, 2002). L'inhibition est également impliquée dans la compréhension de la lecture chez des enfants de 10 ans (Kieffer *et al.*, 2013). Les enfants bilingues présentent de meilleures performances au niveau de ces deux fonctions suite à l'activation des deux représentations linguistiques et à l'inhibition constante d'une des deux permettant ainsi de prévenir les interférences (Bialystok *et al.*, 2010). Ces avantages exécutifs expliquent par la suite les résultats et les meilleures performances obtenues chez les bilingues au niveau de lecture. Toutefois, il nous semble

primordial d'élucider dans ce contexte les liens entre la dénomination orale et la pratique d'une seule langue et d'explorer les avantages que pourrait apporter aux monolingues une plus grande rapidité de dénomination orale comparativement aux bilingues ?

Effets du bilinguisme et des fonctions exécutives sur les performances scolaires

L'étude de la littérature met en relief le rôle assuré par la fonction d'inhibition et de flexibilité cognitive dans les processus de lecture et notamment la compréhension à l'écrit (Haft *et al.*, 2019 ; Hung, 2021) et les habiletés mathématiques à différents niveaux d'âges (Schmitt, Purpura, Geldhof, et Duncan, 2017 ; Mazeau *et al.*, 2021). Rappelons également que le bilinguisme constitue l'une des principales variables linguistiques pouvant influencer l'apprentissage de la lecture, de l'écriture (Bialystok *et al.*, 2005), les habiletés métalinguistiques (Gollan *et al.*, 2014), les compétences numériques, la résolution de problèmes arithmétiques et le raisonnement mathématique (Hartanto et Yang, 2018). Les résultats obtenus à la première étude confirment l'hypothèse selon laquelle les bilingues présentent de meilleures performances scolaires notamment en lecture et en mathématiques.

Deuxième contribution : Effet d'un entraînement ciblé et intensif des trois composantes exécutives et leurs effets sur les habiletés scolaires en mathématiques et en lecture.

La littérature, le contexte éducatif libanais et la prise en charge clinique des enfants bilingues ayant des troubles spécifiques d'apprentissages nous ont permis de percevoir toute la complexité à laquelle les enfants libanais doivent faire face. Cette complexité est en lien avec les spécificités des apprentissages du langage écrit dans les deux langues (français-arabe ou anglais-arabe) qui exigent une continuelle adaptation cognitive.

Suite à la première contribution, il semble possible d'améliorer les composantes exécutives d'enfants dyslexiques libanais bilingues. Ainsi, la deuxième étude représente la première tentative d'entraînement des fonctions exécutives basée sur le langage oral dans un contexte libanais bilingue.

L'étude de la littérature souligne la nécessité de cibler les fonctions exécutives dans le dépistage, l'évaluation ainsi que la rééducation des troubles spécifiques des apprentissages. En fait, de nombreuses études recommandent des entraînements intensifs et répétitifs ciblés sur les fonctions exécutives altérées (Kechichian, 2020). Toutefois, les travaux ciblant l'entraînement des fonctions exécutives sont restreints dans le cadre des troubles spécifiques des apprentissages. Rappelons que de nombreux travaux ont visé l'entraînement de la mémoire de travail. Certaines études n'ont pas trouvé d'améliorations au niveau de la tâche entraînée, ni aucun effet de transfert (Maehler *et al*, 2019). Cependant, d'autres travaux ont trouvé des améliorations au niveau de la mémoire de travail et un effet de transfert sur la lecture (Shiran et Breznitz, 2011). D'autres auteurs ont également retrouvé un effet de transfert sur les capacités intellectuelles (Au *et al*, 2014).

Par ailleurs, les travaux menés sur l'entraînement de l'inhibition révèlent des améliorations au niveau de la tâche entraînée et un effet de transfert est confirmé au niveau de la lecture (Pasqualotto et Venuti, 2020). De même, les études menées sur l'entraînement de la flexibilité cognitive ont également rapporté des améliorations au niveau de cette composante et un effet de transfert est remarqué sur la lecture (Kloo et Perner, 2003 ; Kray *et al*, 2008). Nos résultats confirment l'hypothèse selon laquelle un entraînement ciblé et intensif des fonctions exécutives apporte des bénéfices sur la flexibilité, l'inhibition et la mémoire de travail. Un effet de transfert proche a été soulevé également sur les habiletés en lecture et les compétences mathématiques auprès des enfants dyslexiques libanais avec ou sans difficultés exécutives.

Avantages et les limites de cette étude

Au plan clinique, les résultats de cette thèse encouragent à considérer et à repenser le rôle du bilinguisme précoce sur la prise en charge des enfants dyslexiques et dyscalculiques suite à un entraînement ciblé et intensif. Toutefois, les effets de transfert sur les performances scolaires dépendent de plusieurs facteurs tels que la durée de l'entraînement (Jaeggi *et al*, 2008), l'effet de la réceptivité à l'entraînement (Jaeggi *et al*, 2011, Jaeggi *et al*, 2014) et la composition de l'entraînement.

Concernant la composition des tâches, il nous a été difficile de cibler une fonction exécutive particulière. Ainsi, les tâches d'entraînement font souvent appels aux trois composantes exécutives simultanément (mémoire de travail/inhibition et flexibilité) ce qui facilite les effets de transfert proche dans le milieu scolaire (de Blakey et Carroll, 2015 ; Dowsett et Livesey, 2000). Par ailleurs, l'impureté des tâches exécutives est expliquée par l'interrelation entre les différentes composantes exécutives, explicitée précédemment dans le modèle de Diamond (2013) sur lequel nous nous basons. Rappelons que la mémoire de travail soutient le contrôle inhibiteur en gardant en mémoire les informations nécessaires et appropriées pour la tâche en cours. Réciproquement, le contrôle inhibiteur permet d'éviter l'encombrement de la mémoire de travail par des informations inutiles à l'activité en cours. Enfin, la flexibilité cognitive permet de changer de perspective grâce au contrôle inhibiteur qui inhibe d'une part le point de vue précédent et requiert d'autre part des compétences de la mémoire de travail.

Outre la composition des tâches, il nous a paru indispensable de respecter l'aspect ludique et motivationnel des tâches, et surtout de ne pas mettre le participant face à une situation d'échec pouvant le bloquer pour la suite de l'entraînement.

Par ailleurs, il serait judicieux d'évaluer précocement les fonctions exécutives dans le cadre des troubles spécifiques d'apprentissage comme la dyslexie ou la dyscalculie. De nombreux travaux vont également dans le même sens afin de souligner la nécessité de leur évaluation, notamment sur le plan clinique (Roy *et al.*, 2012 ; Zelazo, 2015 ; Guerra, 2020). L'identification précoce de ces difficultés permet l'élaboration d'un diagnostic clinique afin de mettre en place les modalités de la prise en charge, ainsi que sur les adaptations /compensations possibles dans la vie quotidienne et scolaire (Guerra *et al.*, 2019). Suite à ce travail de thèse, le centre « CLES » dans lequel nous avons mené notre recherche a changé sa stratégie d'évaluation auprès des enfants ayant des troubles d'apprentissage en mettant en œuvre la démarche élaborée et adoptée au cours de cette recherche. Ajoutons que l'évaluation des fonctions exécutives doit se baser sur diverses sources et plusieurs outils (Toplak *et al.*, 2013). Le processus d'investigation doit associer et confronter l'entretien et les observations cliniques ainsi que les résultats des tests psychométriques basés sur la performance et les données issues de mesures écologiques représentatives de la vie quotidienne (Charbonnier *et al.*, 2011). En outre, une description détaillée du comportement de l'enfant de la part de ses parents et des enseignants dans la vie quotidienne s'avère indispensable afin de favoriser une comparaison plus systématique des observations cliniques à celles issues de l'environnement. Toutefois,

l'appréciation clinique et les questionnaires sont subjectifs et sujets à divers biais et ne correspondent pas toujours aux résultats des tests de performances ce qui nous a poussé à arrêter leurs passations.

Perspectives de recherche

La généralisation de cette expérimentation sur un échantillon plus large englobant différentes régions libanaises et différentes appartenances socio-culturelles serait nécessaire afin de confirmer l'efficacité de l'entraînement et permettre sa généralisation.

Une autre perspective nous paraît également intéressante en proposant l'entraînement des fonctions exécutives auprès des enfants dysexécutifs ayant un traitement médicamenteux. En effet, le même entraînement a été effectué auprès de deux enfants présentant des troubles d'apprentissage avec des difficultés dysexécutives mais qui ont suivi un traitement médicamenteux suite à des difficultés attentionnelles. Ces enfants ont été écartés de l'étude tout en poursuivant les séances d'entraînement avec leur thérapeute. Une progression a été relevée au niveau des composantes exécutives, de l'attention et des performances scolaires. Il serait vraisemblablement intéressant d'explorer plus finement les effets de l'entraînement des fonctions exécutives sur les enfants suivant un traitement médicamenteux.

Par ailleurs, étant donné l'importance des composantes exécutives sur le fonctionnement et l'adaptation de la personne dans tous les contextes de vie, il nous semble primordial de mettre en œuvre au sein des écoles (monolingues) des programmes d'entraînement visant le développement des composantes exécutives. Parmi ces facteurs externes, la présente étude a mis en relief l'importance du bilinguisme et le phénomène d'alternance codique arabo-français ou français-arabe. Ce phénomène se manifeste à travers les pratiques langagières quotidiennes et favorise le développement des fonctions exécutives.

Enfin, d'autres études ont rapporté des effets à long terme sur le fonctionnement exécutif des enfants sous traitement pour leucémies aigües. Les fonctions les plus fréquemment atteintes sont l'attention, la mémoire de travail, l'inhibition et la flexibilité cognitive, mais sans altération des capacités intellectuelles (Buizer *et al*, 2009). La survenue de ces troubles serait liée à l'immaturité de la substance blanche cérébrale du fait que la myélinisation axonale est encore incomplète rendant ainsi les neurones plus vulnérables aux drogues de chimiothérapie. Selon

Merchant et ses collègues (2009), les troubles observés touchaient essentiellement les fonctions d'apprentissage et d'adaptation comportementale. Toutefois, peu d'études se sont intéressées à mettre en place des actions visant à améliorer les troubles exécutifs observés. Ainsi, il nous semble important d'étudier les effets d'un entraînement des fonctions exécutives auprès de ces enfants en période post-chimio. Il serait également intéressant d'évaluer les fonctions exécutives entre deux groupes d'enfants (bilingues /monolingues) en phase post-chimio.

Pour conclure, les résultats obtenus encouragent la poursuite de l'investigation sur les effets du bilinguisme sur les fonctions exécutives et les performances scolaires, non seulement sur des populations tout-venant mais également sur des populations présentant des atteintes spécifiques, avec et sans traitement médicamenteux. En outre, la remédiation des fonctions exécutives semble être une option rééducative bénéfique chez les enfants dyslexiques et auprès d'autres troubles neuro-développementaux.

Références Bibliographiques

1. Abdelgafar, G. et Moawad, R. (2014). Executive function differences between bilingual arabic-english and monolingual arabic children. *Journal of Psycholinguistic Research*, 44, 651-667.
2. Abdelilah-Bauer B. (2006). *Le défi des enfants bilingues. Grandir et vivre en parlant plusieurs langues*. Paris : La Découverte.
3. Abou, S. (1962). *Le bilinguisme arabe-français au Liban. Essai d'anthropologie culturelle*. Paris : Presses Universitaires de France.
4. Abutalebi, J. et Costa, A. (2008). Acquisition, processing and loss of L2: Functional, cognitive and neural perspectives. *Journal of Neurolinguistics*, 21, 473-476.
5. Abutalebi, J. et Green, D. (2007). Bilingual language production: The neurocognition of language representation and control. *Journal of Neurolinguistics*, 20, 242-275.
6. Abutalebi, J., D.W. Green. (2008). Control mechanisms in bilingual language production: neural evidence from language switching studies. *Language & Cognitive Processes*, 23, 557-582.
7. Agostino, A., Johnson, J., et Pascual-Leone, J. (2010). Executive functions underlying multiplicative reasoning: Problem type matters. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105(4), 286-305.
8. Ahles, T., A., Saykin, A., J. (2007). Candidate mechanisms for Chemo-therapy-induced cognitive changes. *Nat Rev cancer*, 7(3): 192-201.
9. Akbari, E., Soltani-Kouhbanani, S., et Khosrorad, R. (2019). The effectiveness of working memory computer assisted program on executive functions and reading progress of students with reading disability disorder. *Electronic Journal of General Medicine*, 16(2), em123.
10. Akbulut, Y. (2007). Bilingual acquisition and cognitive development in early childhood: challenges to the research paradigm. *Elementary Education Online*, 6 (3), 422-429.
11. Akyurek, G., et Bumin, G. (2019). An investigation of executive function in children with dyslexia. *Psychiatry and Behavioral Sciences*, 9(1), 10-17.
12. Alahmadi, N. A. (2017). Cognitive control in children with learning disabilities: neuromarker for de cient executive functions. *Neuroreport*, 28(11), 638-644.
13. Albaret, J. M., Benesteau, J. et Marquet-Doleac, J. (1999). *Test d'appariement d'images*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

14. Albirini, A. (2016). *Modern Arabic sociolinguistics: Diglossia, variation, codeswitching, attitudes and identity*. Routledge.
15. Al Naboulsi, D., Vilette, B (2021). Relations entre bilinguisme, performances scolaires et fonctions exécutives chez des enfants libanais de 8-10 ans. *Enfance*, 4 (4). 391-411.
16. Alloway, T. P., Bibile, V., et Lau, G. (2013). Computerized working memory training: Can it lead to gains in cognitive skills in students? *Computers in Human Behavior*, 29(3), 632–638.
17. Alloway, T. P., et Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106(1), 20-29.
18. Alloway, T. P., Banner, G. E., et Smith, P. (2010). Working memory and cognitive styles in adolescents' attainment. *British Journal of Educational Psychology*, 80, 567–581.
19. Altemeier, L. E., Abbott, R. D., et Berninger, V. W. (2008). Executive functions for reading and writing in typical literacy development and dyslexia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 30(5), 588-606.
20. American Psychiatric Association (APA). (2013). Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th Edition: DSM-5 (5^e éd.). American Psychiatric Publishing.
21. Amso, D et Johnson, S., P. (2005). Selection and inhibition in infancy: Evidence from the spatial negative priming paradigm. *Cognition*. 95: 27–36.
22. Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, 8(2), 71–82.
23. Anderson, U. (2008). Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children: The importance of central executive functions. *Educational Psychology*. 78, 181-203.
24. Anderson, V., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R. et Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental Neuropsychology*, 20 (1):385-406.
25. Anderson, V., Spencer-Smith, M., Coleman, L., Anderson, P., Williams, J., Greenham, M., et al. (2010). Children's executive functions: are they poorer after very early brain insult, *Neuropsychologia*, 48, 2041-2050.
26. Andurain, J. (2017). « La Grande-Syrie » diachronie d'une construction géographique (1912-1923). *Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée*, 141, 33-51.

27. Anghel, B., Cabrales, A., et Carro, J. M. (2016). Evaluating a bilingual education program in Spain: The impact beyond foreign language learning. *Economic Inquiry*, 54 (2), 1202-1223.
28. Antón, E., Duñabeitia, J. A., Estévez, A., Hernández, J. A., Castillo, A., Fuentes, L. J., et Carreiras, M. (2014). Is there a bilingual advantage in the ANT task? Evidence from children. *Frontiers in Psychology*, 5, 398.
29. Ardila, A., Rosselli, M., Matute, E., et Guajardo, S. (2005). The influence of parents' educational level on the development of executive functions. *Developmental Neuropsychology*, 28, 539–560.
30. Armon-Lotem, S. (2012). Introduction: Bilingual children with SLI-the nature of the problem. *Bilingualism: Language and Cognition*, 15 (1), 1-4.
31. Aron, A. R., Durston, S., Eagle, D. M., Logan, G.D., Stinear, C. M., Stuphorn, V. (2007). Converging Evidence for a Fronto-Basal-Ganglia Network for Inhibitory Control of Action and Cognition. *Journal of Neuroscience*, 27 (44), 11860-11864.
32. Askins, M.A., Moore, B., D. Preventing neurocognitive late effects in childhood cancer survivors. (2008). *Child Neurology*; 23 (10): 1160-71.
33. Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., et Jaeggi, S. M. (2014). Improving fluid intelligence with training on working memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin et Review*, 22, 366–377.
34. Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
35. Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29.
36. Baddeley, A., et Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89.
37. Baddeley, A., Logie, R., Bressi, S., Sala, S. D., et Spinnler, H. (1986). Dementia and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 38(4), 603-618.
38. Bailey, R., Jones, S., et Partee, A. (2015). *Mapping the Executive Function Literature: Developing a Framework to Organize Executive Function and Regulation Related Concepts*. Communication présentée au congrès biennuel du SRCD – Society for Research in Child Development. Philadelphie, PA.
39. Baker, C. (1996). *Foundations of Bilingual Education and Bilingualism* (2nd ed.). Clevedon, UK : Multilingual Matters.

40. Balkan, L. (1970). *Les effets du bilinguisme français-anglais sur les aptitudes intellectuelles*. Bruxelles.
41. Ballaz, C., Marendaz, C., Valdois, S., 1999. *Syllables as visual units: Evidences from dyslexic and deaf children*. Proceedings of the XIth Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Ghent 1-4 september.
42. Bangert, M., Thomas, P., Schlaug, G., Rotte, M., Drescher, D., Hinrichs, H., Heinze, H.J., Altenmüller, E. (2006). Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: Evidence from fMRI conjunction. *NeuroImage*, 30 (3), 917-926.
43. Barac, R., et Bialystok, E. (2012). Bilingual effects on cognitive and linguistic development: Role of language, cultural background, and education. *Child Development*, 83(2), 413-422.
44. Barac, R., Moreno, S., et Bialystok, E. (2016). Behavioral and electrophysiological differences in executive control between monolingual and bilingual children. *Child Development*, 87(4), 1277-1290.
45. Barbosa, T., Rodrigues, C.C., Mello, C.B., Silva, M.C., et Bueno, O.F. (2019). Executive functions in children with dyslexia. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 77(4), 254-259.
46. Bargue, S. (2013). Étude des répercussions d'un entraînement des fonctions exécutives sur les mécanismes de la lecture chez des enfants dyslexiques de CM2. Mémoire en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthophonie, Université Bordeaux Victor Segalen, Département d'orthophonie.
47. Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65–94.
48. Barrouillet, P., Bernardin, S., et Camos, V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 83-100.
49. Bechara, A., Tranel, D., et Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain*, 123(11), 2189-2202.
50. Bedoin, N., Roussel, C., Leculier, L., Kéïta, L., Herbillon, V., Launay, L. (2009). Évaluation et remédiation d'un déficit visuo-attentionnel chez des enfants dyslexiques. In A. Devevey. *Dyslexies : approches thérapeutiques, de la psychologie cognitive à la linguistique*. Solal: Marseille.
51. Bedore, L. M., et Peña, E.D. (2008). Assessment of bilingual children for identification of language impairment: Current findings and implications for practice. *Bilingual Education and Bilingualism*, 11 (1), 1-29.

52. Beebe, D. W. (2006). Neurobehavioral morbidity associated with disordered breathing during sleep in children: A comprehensive review. *Sleep*, 29, 1115-1134.
53. Beheydt, L., et Klein, J. (2002). Éducation bilingue et enseignement bilingue. *Le Langage et l'Homme*, 37(1), 177-186.
54. Belfi, A. M., Conrad, A. L., Dawson, J., et Nopoulos, P. (2014). Masculinity/femininity predicts brain volumes in normal healthy children. *Developmental Neuropsychology*, 39(1), 25-36.
55. Bell, M. A., Wolfe, C. D. et Adkins, D. R. (2007). Frontal lobe development during infancy and childhood. In D. J. Coch, K. W. Fischer et G. Dawson (Eds.), *Human behavior learning, and the developing brain: Typical Development*, 247-276. New York: Guilford.
56. Berens, Melody S., Kovelman, L., et Pettito, L.A., (2013). Should bilingual children learn reading in two languages at the same time or in sequence? *Bilingual Research Journal*, 36(1), 35-60.
57. Berglund, E.V.A., Eriksson, M., et Westerlund, M. (2005). Communicative skills in relation to gender, birth order, child care and socioeconomic status in 18-month-old children. *Scandinavian journal of psychology*, 46 (6), 485-491.
58. Berhin, A. La prise en charge des réfugiés syriens et l'impact de leur présence au Liban entre 2011 et 2015. Faculté des sciences économiques, sociales, politiques et de communication, Université catholique de Louvain, 2017.
59. Bermudez, P. and Zatorre, R.J. (2005), Differences in Gray Matter between Musicians and Nonmusicians. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060: 395-399.
60. Bernier, A., Carlson, S. M. et Whipple, N. (2010). From external regulation to self-regulation: Early parenting precursors of young children's executive functioning. *Child Development*, 81, 326-339.
61. Bernier, A., Carlson, S. M., Deschênes, M. et Matte-Gagné, C. (2011). Social precursors of preschoolers' executive functioning: A closer look at the early caregiving environment. *Developmental Science*, 15, 12-24.
62. Bernier, A., Carlson, S. M., Deschênes, M., et Matte-Gagné, C. (2012). Social factors in the development of early executive functioning: A closer look at the caregiving environment. *Developmental Science*, 15(1), 12-24.
63. Berninger, V., Abbott, R., Cook, C. R. et Nagy, W. (2017). Relationships of Attention and Executive Functions to Oral Language, Reading, and Writing Skills and Systems in Middle Childhood and Early Adolescence. *Journal of Learning Disabilities*, 50(4), 434-449.

64. Berninger, V.W., Abbott, R.D., Nagy, W., and Carlisle, J. (2010). Growth in phonological, orthographic, and morphological awareness in grades 1 to 6. *Journal Psycholinguistics*, 39 : 141–163.
65. Berramdane, A. « les emprunts au français dans l’arabe marocain de la région d’Oujda ». Bulletin d’information et de liaison. Cardan. Paris, 1973, 5, N : 2, 90.
66. Besse, A. S., Marec-Breton, N., et Demont, E. (2010). Développement métalinguistique et apprentissage de la lecture chez les enfants bilingues. *Enfance*, (2), 167-199.
67. Bherer. L., Kramer. A F., Peterson, M S., Colcombe, S., Erickson, K., et Becic, E., (2008). Transfer Effects in Task-Set Cost and Dual-Task Cost After Dual-Task Training in Older and Younger Adults: Further Evidence for Cognitive Plasticity in Attentional Control in Late Adulthood, *Experimental Aging Research*, 34 (3), 188-219.
68. Bialystok, E. (1999). Cognitive complexity and attentional control in the bilingual mind. *Child Development*, 70(3), 636–644.
69. Bialystok, E. (2001). Bilingualism in development: Language. Literacy, and cognition. Cambridge University Press. UK.
70. Bialystok, E. (2011). Coordination of executive functions in monolingual and bilingual children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(3), 461-468.
71. Bialystok, E. (2011). Reshaping the mind: the benefits of bilingualism. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 65(4), 229.
72. Bialystok, E. (2017). The bilingual adaptation: How minds accommodate experience. *Psychological Bulletin*, 143(3), 233–262.
73. Bialystok, E. et Feng, X. (2009). Language proficiency and executive control in proactive interference: Evidence from monolingual and bilingual children and adults. *Brain and Language*, 109, 93–100.
74. Bialystok, E. et Martin, M. M. (2004). Attention and inhibition in bilingual children: Evidence from the Dimensional Change Card Sort task. *Developmental Science*, 7(3): 325-339.
75. Bialystok, E. et Viswanathan, M. (2009). Components of executive control with advantages for bilingual children in two cultures. *Cognition*, 112, 494-500.
76. Bialystok, E., Craik, F.M. et Luk, G. (2008). Lexical access in bilinguals: effects of vocabulary size and executive control. *Journal of Neurolinguistics*, 21, 522-538.
77. Bialystok, E., Craik, F.M. et Luk, G. (2012). Bilingualism: consequences for mind and brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(4), 240-250.

78. Bialystok, E., et Cummins, J. (1991). Language, cognition, and education of bilingual children. *Language Processing in Bilingual Children*, 222-232.
79. Bialystok, E., Peets, K. F., et Moreno, S. (2014). Producing bilinguals through immersion education: Development of metalinguistic awareness. *Applied Psycholinguistics*, 35(1), 177-191.
80. Bialystok, E., Shenfield, T., et Codd, J. (2000). Languages, scripts, and the environment: Factors in developing concepts of print. *Developmental psychology*, 36(1), 66.
81. Bialystok, E./McBride-Chang, C./Luk, G. (2005). Bilingualism, Language Proficiency, and Learning to Read in Two Writing Systems. *Journal of Educational Psychology*. 97, 580-590.
82. Bijeljac-Babic, R. (2017). *L'enfant bilingue*, Paris, Odile Jacob.
83. Blair C, Raver CC. (2016). Poverty, Stress, and Brain Development: New Directions for Prevention and Intervention. *Academic Pediatrics*. 16(3), 30-6.
84. Blair, C., et Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647-663.
85. Blair, C., Granger, D. A., Willoughby, M., Mills-Koonce, R., Cox, M., Greenberg, M. T., Kivlighan, K. T., Fortuna- To, C. K. et The Family Life Project Investigators (2011). Salivary cortisol mediates effects of poverty and parenting on executive functions in childhood. *Child Development*, 82, 1970-1984.
86. Blakemore, S.-J. et Choudhury, S. (2006), Development of the adolescent brain: implications for executive function and social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 47 (3-4), 296-312.
87. Blakemore, S., J. Winston, j., Uta Frith. (2004). Social cognitive neuroscience: where are we heading? *Trends in Cognitive Sciences*, 8, Issue 5, 216-222.
88. Blakey, E., et Carroll, D. J. (2015). A short executive function training program improves preschoolers' working memory. *Frontiers in Psychology*, 6, 1827.
89. Blankson A. N., O'Brien M., Leerkes E. M., Marcovitch S., Calkins S. D., et Weaver J. M. (2013). Developmental dynamics of emotion and cognition processes in preschoolers. *Child Development*, 84, 346-360.
90. Blom, E., Küntay, A. C., Messer, M., Verhagen, J., et Leseman, P. (2014). The benefits of being bilingual: Working memory in bilingual Turkish–Dutch children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 128, 105-119.
91. Bloomfield, L. (1935). Linguistic aspects of science. *Philosophy of Science*, 2(4), 499-517.

92. Bohman, T.M., Bedore, L.M., Peña, E.D., Mendez-Perez, A., et Gillam, R.B. (2010). What you hear and what you say: Language performance in Spanish- English bilinguals. *International Journal of Bilingual Education and bilingualism*, 13 (3), 325-344.
93. Booth, J. N., Boyle, J. M. E., et Kelly, S. W. (2010). Do tasks make a difference? Accounting for heterogeneity of performance of children with reading difficulties on tasks of executive function: Findings from a meta-analysis. *British Journal of Developmental Psychology*, 28(1), 133-176.
94. Borella, E., Carretti, B., et Pelegrina, S. (2010). The specific role of inhibition in reading comprehension in good and poor comprehenders. *Journal of Learning Disabilities*, 43(6), 541–552.
95. Bosse, M. L., Tainturier, M. J., et Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104(2), 198-230.
96. Boudelaa, S. (2014). Is the Arabic mental lexicon morpheme-based or stem-based? Implications for spoken and written word recognition. In *Handbook of Arabic literacy*. 31-54. Springer, Dordrecht.
97. Boudreault, M.-C. (2006). Impact de variables socio-démographiques sur le développement communicatif dl enfants québécois de 8 à 30 mois. Travail dirigé inédit. École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal.
98. Boudreault, M.-C., Cabirol, E.-A., Trudeau, N., et Sutton, A. (2005). Développement du lexique chez les enfants franco-québécois de 8 à 30 mois. *Fréquences*, 17(2), 11-16.
99. Boujon, C. (2002). L'inhibition au carrefour des neurosciences et des sciences de la cognition : Fonctionnement normal et pathologique. Groupe de Boeck.
100. Boulc'h, L., Gaux, C., et Boujon, C. (2007). Implication des fonctions exécutives dans le décodage en lecture : Étude comparative entre normolecteurs et faibles lecteurs de CE2. *Psychologie Française*, 52(1), 71–87.
101. Brissiaud, R., et Sander, E. (2010). Arithmetic word problem solving: A situation strategy first framework. *Developmental Science*, 13(1), 92-107.
102. Broca, P. (1861). Perte de la parole, ramollissement chronique et destruction partielle du lobe antérieur gauche du cerveau. *Bulletin de la Société Anthropologique*, 2(1), 235-238.
103. Brosnan, M., Demetre, J., Hamill, S., Robson, K., Shepherd, H., et Cody, G. (2002). Executive functioning in adults and children with developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 40(12), 2144–2155.

104. Brosnan, M., Demetre, J., Hamill, S., Robson, K., Shepherd, H., Cody, G. (2002). Executive functioning in adults and children with developmental dyslexia, *Neuropsychologia*, 40(12), 2144-2155.
105. Bugos JA, DeMarie D. (2017). The effects of a short-term music program on preschool children's executive functions. *Psychology of Music*. 45(6):855-867.
106. Buizer, Al ; De Sonnevile, LM ; Veerman, AJ. (2009). Effects of chemotherapy on neurocognitive function in children with acute lymphoblastic Leukemia: a critical review of the literature. *Pediatric Blood Cancer*, 52 (4): 447-54.
107. Bull, R. and Lee, K. (2014), Executive Functioning and Mathematics Achievement. *Child Developmental Perspect*, 8: 36-41.
108. Bull, R., Espy, K. A., et Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205-228.
109. Bull, R., Espy, K. A., et Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205-228.
110. Bull, R., et Scerif, G. (2001). Executive Functioning as a Predictor of Children's Mathematics Ability: Inhibition, Switching, and Working Memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273-293.
111. Bull, R., Johnston, R. S., et Roy, J. A. (1999). Exploring the roles of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills. *Developmental Neuropsychology*, 15(3), 421-442.
112. Bürki, C., Ludwig, C., Chicherio, C et de Ribaupierre, A. (2014). Individual differences in cognitive plasticity: An investigation of training curves in younger and older adults. *Psychological Research*. 78. 821-835
113. Butler, Y.G., et Hakuta, K. (2004). Bilingualism and second language acquisition. The Handbook of Bilingualism, Malden, MA: Blackwell:114-144.
114. Cain K. (2006). Individual differences in children's memory and reading comprehension: an investigation of semantic and inhibitory deficits. *Memory*, 14(5), 553-569.
115. Cain, K., Oakhill, J., et Bryant, P. (2004). Children's reading comprehension ability: Concurrent prediction by working memory, verbal ability, and component skills. *Journal of Educational Psychology*, 96(1), 31-42.

116. Carlson, S. M. (2003). Executive Function in Context: Development, Measurement, Theory, and Experience. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68 (3), 138-151.
117. Carlson, S. M., et Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child development*, 72(4), 1032–1053.
118. Carlson, S. M., Mandell, D. J. et Williams, L. (2004). Executive function and theory of mind: Stability and prediction from ages 2 to 3. *Developmental Psychology*, 40(6), 1105-1122.
119. Carlson, S.M. et Meltzoff, A.N. (2008). Bilingual experience and executive functioning in young children. *Developmental Science*, 11, 282–298.
120. Carlson, S.M. et Zelazo, Philip et Faja, Safaa. (2019). From executive function to executive functions: A neurocognitive and socio-affective synthesis in cognitive neurosciences and developmental psychology. *ANAE – Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*. 31. 371-413.
121. Carlson, S.M., (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*. 28, 595-616.
122. Carlson, S.M., Zelazo, P.H. et FAJA, S. (2019). De la – aux – fonctions exécutives : une synthèse neurocognitive et socioaffective en neurosciences cognitives et en psychologie du développement. *A.N.A.E. Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 160, 371-413.
123. Carretti, B., Borella, E., Cornoldi, C., et De Beni, R. (2009). Role of working memory in explaining the performance of individuals with specific reading comprehension difficulties: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 245–251.
124. Cartwright, K. B. (2002). Cognitive development and reading: The relation of reading-specific multiple classification skill to reading comprehension in elementary school children. *Journal of Educational Psychology*, 94(1), 56.
125. Cartwright, K. B. (2012). Insights from cognitive neuroscience: The importance of executive function for early reading development and education. *Early Education et Development*, 23(1), 24-36.
126. Casalis, S., Leloup, G., Bois-Parriaud, F. (2013). Prise en charge des troubles du langage écrit chez l'enfant (pp. 10-11-42). Paris : Elsevier Masson.
127. Casco, C., Tressoldi, P. E., et Dellantonio, A. (1998). Visual selective attention and reading efficiency are related in children. *Cortex*, 34(4), 531-546.

128. Casey. B., J. (2015). Beyond simple models of self-control to circuit-based accounts of adolescent behavior. *Annual Review of Psychology*. (66). 295-319.
129. Castel, C., Pech-George, C., George, F., Ziegler, J.C. (2008). Lien entre dénomination rapide et lecture chez les enfants dyslexiques. *L'année Psychologique*, 108, 395-422.
130. Catach, N. (Ed.). (1995). *Dictionnaire historique de l'orthographe française*. Larousse.
131. Catale, C., Willems, S., Lejeune, S., et Al. (2012). Parental educational level influence on memory and executive performance in children. *European Review of Applied Psychology*, 62 (3), 161-171.
132. Censabella, S. (2007). Les fonctions exécutives. Dans M.-P. Noël (Éd.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (pp. 117-137). Sprimont, Belgique: Mardaga.
133. Central Administration of Statistics. Republic of Lebanon (2020). Labour Force and Household Living conditions Survey 2018/2019. Lebanon, Beirut, 2020.
134. Cepeda, N.J., Kramer, A.F., et Gonzales De Sather, J.C.M. (2001). Changes in executive control across the life span: examination of task-switching performance. *Developmental Psychology*, 37, 715– 730.
135. Charbonnier, V., Roy, A., Seegmuller, C., Gautier, A., et Le Gall, D. (2011). A case study of executive dysfunction with predominant cognitive disorder in a child with symptomatic frontal lobe epilepsy. *Revue de neuropsychologie*, 3(1), 11-22.
136. Chavan, C., Mouthon, M., Simonet, M. et al. (2017). Sustained enhancements in inhibitory control depend primarily on the reinforcement of fronto-basal anatomical connectivity. *Brain Structure and Function*. 222, 635–643.
137. Chee MW, Soon, C.S., Lee HL, Pallier c. (2004). Left insula activation: A marker for language attainment in bilinguals. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 101(42), 15265-15270.
138. Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant : Concepts et développement. *Canadian Psychology*, 51(3), 149–163.
139. Chevalier, N., et Blaye, A. (2006). Le développement de la flexibilité cognitive chez l'enfant préscolaire : enjeux théoriques. *L'Année Psychologique*, 106, 569 – 608.
140. Chevalier. N et Blaye. A. (2008). Cognitive flexibility in preschoolers: the role of representation activation and maintenance. *Developmental Science*, 11, 339-353.
141. Chomsky, N. (1957). *Syntactic structures*. The Hague: Mouton.

142. Chomsky, N. (1968). « Trois modèles de description du langage ». In Gross, M. (dir.), *Langages. Les modèles en Linguistique*, 9, Paris : Editions Didier-Laroussé, pp. 51–76.
143. Chuderski, A. (2013). When are fluid intelligence and working memory isomorphic and when are they not? *Intelligence*, 41(4), 244-262.
144. Cirino, P. T., Miciak, J., Ahmed, Y., Barnes, M. A., Taylor, W. P., et Gerst, E. H. (2018). Executive function: Association with multiple reading skills. *Reading and Writing*, 32, 1819-1846.
145. Clark, C. A. C., Pritchard, V. E., et Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental Psychology*, 46, 1176–1191.
146. Clark, C. A., Nelson, J. M., Garza, J., Sheffield, T. D, Wiebe, S. A., et Espy, K. A. (2014). Gaining control: changing relations between executive control and processing speed and their relevance for mathematics achievement over course of the preschool period. *Frontiers in Psychology*, 5(107).
147. Clement, E. (2006). Approche de la flexibilité cognitive dans la problématique de la résolution de problème. *L'Année Psychologique* (106), 415-434.
148. Clement, E. (2007). Flexibilité, changement de point de vue et découverte de solution. *Cognition, Santé et Vie Quotidienne*, 1, 21-42.
149. Clément, E. (2021). Découverte de solution et flexibilité cognitive. *Iste éditions*, London.
150. Clément, E. (2022). Successful Solution Discovery and Cognitive Flexibility. *Cognitive Flexibility: The Cornerstone of Learning*, 113-142.
151. Clerc, J., et Clément, E. (2016). Metacognition and cognitive flexibility in transfer of learning. *Benson, J.*, 17-42, New York.
152. Clercq-Quaegebeur, D., Casalis, S., Vilette, B., Lemaitre, M. P., et Vallee, L. (2017). Arithmetic abilities in children with developmental dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*. 51 (3), 236-249.
153. Coderre, E., Guo, T., Dijkstra, T., Van Heuven, W., Conklin, K. (2011). The influence of cross-language similarity on within- and between-language Stroop effects in trilinguals. *Frontiers in Psychology*, 2, 1664-1078.
154. Cogmed (Cogmed Working Memory Training)-Pearson. Distribué par les ECPA.

155. Colé, P., Duncan, L. G., et Blaye, A. (2014). Cognitive flexibility predicts early reading skills. *Frontiers in Psychology*, 5, 565.
156. Collins, A., et Koechlin, E. (2012). Reasoning, Learning, and Creativity: Frontal Lobe Function and Human Decision-Making. *PLoS Biology*, 10(3), e1001293.
157. Colomé, A. et Miozzo, M. (2010). Which words are activated during word production? *Journal of Experimental Psychology Learning Memory and Cognition*, 36 (1), 96-109.
158. Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. *Strategies of Information Processing*, 151-216.
159. Commodari, E., et Di Blasi, M. (2014). The role of the different components of attention on calculation skill. *Learning and individual differences*, 32, 225-232.
160. Cornoldi, C., et Giofrè, D. (2014). The crucial role of working memory in intellectual functioning. *European Psychologist*, 19(4), 260–268.
161. Costa, A., Hernández, M., et Sebastián-Gallés, N. (2008). Bilingualism aids conflict resolution: Evidence from the ANT task. *Cognition*, 106(1), 59-86.
162. Costini, O., Remigereau, C., Le Gall, D. et Roy, A. (2017). Fonctions exécutives et trouble développemental de la coordination : réflexion théorique et sémiologie clinique. *A.N.A.E.*, 146, 63-71.
163. Coulmas, F. (Ed.). (1989). *Language adaptation*. Cambridge University Press.
164. Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and brain sciences*, 24 (1), 87-114.
165. Cowan, N., Elliott, E. M., Saults, J. S., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A., et Conway, A. R. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive psychology*, 51 (1), 42-100.
166. Cragg, L., et Chevalier, N. (2012). The processes underlying flexibility in childhood. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(2), 209-232.

167. Cragg, L., et Gilmore, C. (2014). Skills underlying mathematics: The role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trends in Neuroscience and Education*, 3(2), 63-68.
168. Crisci, G., Caviola, S., Cardillo, R., et Mammarella, I. C. (2021). Executive Functions in Neurodevelopmental Disorders: Comorbidity Overlaps Between Attention Deficit and Hyperactivity Disorder and Specific Learning Disorders. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15: 594234.
169. Crivello, C., Kuzyk, O., Rodrigues, M., Friend, M., Zesiger, P. et Poulin-Dubois, D. (2016). The effects of bilingual growth on toddlers' executive function. *Journal of Experimental Child Psychology*, 141, 121-132.
170. Crone, E. A. (2009). Executive functions in adolescence: Inferences from brain and behavior. *Developmental Science*, 12, 825-830.
171. Dahlgren, S., Almén, H., & Dahlgren Sandberg, A. (2017). Theory of mind and executive functions in young bilingual children. *The Journal of genetic psychology*, 178(5), 303-307.
172. Dalgalian, G. (2000). *Enfances plurilingues*. L'Harmattan.
173. Dallinger, S., Jonkmann, K., Hollm, J., et Fiege, C. (2016). The effect of content and language integrated learning on students' English and history competences—Killing two birds with one stone? *Learning and instruction*, 41, 23-31.
174. Daubert, E. N., et Ramani, G. B. (2019). Math and memory in bilingual preschoolers: The relations between bilingualism, working memory, and numerical knowledge. *Journal of Cognition and Development*, 20(3), 314-333.
175. Daucourt, M. C., Schatschneider, C., Connor, C. M., Al Otaiba, S., et Hart, S. A. (2018). Inhibition, updating working memory, and shifting predict reading disability symptoms in a hybrid model: Project KIDS. *Frontiers in Psychology*, 9, 238.
176. Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., et Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from

- manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078.
177. De Bot, K., Lowie, W., et Verspoor, M. (2007). A Dynamic Systems Theory approach to second language acquisition. *Bilingualism: Language and Cognition*, 10 (1), 7–21.
 178. De Jong, P. F. (2006). Understanding normal and impaired reading development: A working memory perspective. 33-60.
 179. De Lillo, M., Brunson, V. E., Bradford, E. E., Gasking, F., et Ferguson, H. J. (2021). Training executive functions using an adaptive procedure over 21 days (10 training sessions) and an active control group. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 74(9), 1579-1594.
 180. De Surcoût, Hughes, C. H., et Ensor, R. A. (2009). How do families help or hinder the emergence of early executive function? *New Directions in Child and Adolescent Development*, 123, 35-50.
 181. De Weck, G., et Marro, P. (2010). *Les troubles du langage chez l'enfant*. Elsevier Masson.
 182. Deacon, B., Kemp, J. J., Dixon, L. J., Sy, J. T., Farrell, N. R., et Zhang, A. R. (2013). Maximizing the efficacy of interoceptive exposure by optimizing inhibitory learning: A randomized controlled trial. *Behavior Research and Therapy*, 51(9), 588-596.
 183. Deacon, S., Chen, X., Luo, Y., et Ramirez, G. (2013). Beyond language borders: orthographic processing and word reading in Spanish–English bilinguals. *Journal of Research in Reading*, 36, 1, 58-74
 184. Dehaene, S. et Cohen, L. (1991). Two mental calculation systems. *Neuropsychologia*, 29, 1045–1074
 185. Dehaene, S., et Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1, 83-120
 186. Delage, G., et De Pietro, J. F. (2008). *La langue française dans sa diversité*. Direction des relations publiques du ministère de la culture, des communications et de la condition féminine.
 187. Delalande, L. Étude des effets de l'entraînement du contrôle inhibiteur sur le développement cognitif et les apprentissages scolaires chez l'enfant : étude comportementale et en IRM. Psychologie. Université Sorbonne Paris Cité, 2018.
 188. Demont, E. (2001). Contribution de l'apprentissage précoce d'une deuxième langue au développement de la conscience linguistique et à l'apprentissage de la lecture. *Journal International De Psychologie*, 36, 4, 274-285.

189. Dempster, F. N., et Brainerd, C. J. (1995). New perspectives on interference and inhibition in cognition: Final comments. In *Interference and inhibition in cognition*. Academic Press. 401-407.
190. Denckla, M. B., et Rudel, R. G. (1976). Rapid 'automatized' naming (R.A.N.): Dyslexia differentiated from other learning disabilities. *Neuropsychologia*, 14(4), 471-479.
191. Dennis, M. (2006). Prefrontal cortex: Typical and atypical development. In J. Risberg et J. Grafman (Eds.), *The frontal lobes: Development, function and pathology* (pp. 128-162). New York: Cambridge University Press.
192. Dettling, A. C., Megan R. Gunnar, Bonny Donzella. 1999. Cortisol levels of young children in full-day childcare centers: relations with age and temperament, *Psychoneuroendocrinology*, 24, 519-536.
193. Diamond A. (2012). Activities and Programs That Improve Children's Executive Functions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(5), 335-341.
194. Diamond, A. (2009). Apprendre à apprendre. *The Research File*, 2009(34), 88.
195. Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64 (1), 135-168.
196. Diamond, A. (2014a). Want to Optimize Executive Functions and Academic Outcomes? *Minnesota Symposia on Child Psychology*, 37, 205-232.
197. Diamond, A. (2016). Conceptualization and measurement of executive function. In J.A. Griffin, P. McCardle et L.S. Freund (Eds.), *Executive function in preschool-age children* (pp.9-43). Washington: American Psychological Association.
198. Diamond, A. et Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959-964.
199. Diamond, A., Barnett. W. S, Thomas, J. et Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science*, 318, 1387-1388.
200. Diamond, A., et Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 18, 34-48.
201. Diamond, A., Prevor, M. B., Callender, G. et Druin, D. P. (1997). Prefrontal cortex cognitive deficits in children treated early and continuously for PKU. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 62(4), 252.
202. Diekelmann, Susanne et Born, Jan. (2010). Diekelmann S, Born J. The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience* 11: 114-126.

203. Dörnyei, Z. (2003). Attitudes, orientations, and motivations in language learning: Advances in theory, research, and applications. *Language learning*, 53(S1), 3-32.
204. Dörrenbächer, C., et Geppert, M. (2014). Power and politics in multinational corporations: towards more effective workers' involvement1. *Transfer: European Review of Labour and Research*, 20(2), 295–303.
205. Droop, M., et Verhoeven, L. (2003). Language proficiency and reading ability in first- and second-language learners. *Reading research quarterly*, 38(1), 78-103.
206. Dubois, B., Verin, M., Teixeira-Ferreira, C., Sirigu, A., et Pillon, B. (1994). How to study frontal lobe functions in humans. In *Motor and cognitive functions of the prefrontal cortex* (pp. 1-16). Springer, Berlin, Heidelberg.
207. Duckworth, AL., Kim, B. and Tsukayama, E., (2013). Life stress impairs self-control in early adolescence. *Front Psychology*, 3: 608.
208. Duñabeitia, J. A., Hernández, J. A., Antón, E., Macizo, P., Estévez, A., Fuentes, L. J., et Carreiras, M. (2014). The inhibitory advantage in bilingual children revisited: myth or reality? *Experimental psychology*, 61(3), 234.
209. Dunning, D. L. et Holmes, J. (2014). Does working memory training promote the use of strategies on untrained working memory tasks? *Memory et Cognition*, 42 (6). 854-62.
210. Duval, S., Bouchard, C., et Pagé, P., (2017). « Le développement des fonctions exécutives chez les enfants », *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 37,121-137.
211. Duval. S., Bouchard. C., Pagé. P, Hamel. C, Serpa. S, (2016). Quality of classroom interactions in kindergarten and executive functions among five-year-old children, *Cogent Education*, 3, 1.
212. Duverger, J., Schumacher, R., et Godard, R. (1998). Mots-clés—classe bilingue.
213. Ecalte, J. L'évaluation de la lecture et des compétences associées (2010). *Revue française de Linguistique Appliquée*. 1, 105-120.
214. Engel de Abreu, P. M., Abreu, N., Nikaedo, C. C., Puglisi, M. L., Tourinho, C. J., Miranda, M. C., ... et Martin, R. (2014). Executive functioning and reading achievement in school: a study of Brazilian children assessed by their teachers as “poor readers”. *Frontiers in Psychology*, 5, 550, 1-14.
215. Engel de Abreu, P. M., et Gathercole, S. E. (2012). Executive and phonological processes in second-language acquisition. *Journal of Educational Psychology*, 104(4), 974.

216. Engle RW, Tuholski SW, Laughlin JE, Conway AR. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology General*, 128(3), 309–331.
217. Enriquez-Geppert, S., Huster, R. J. et Herrmann, C. S. (2013). Boosting brain functions: Improving executive functions with behavioral training, neurostimulation, and neurofeedback. *International Journal of Psychophysiology*, 88 (1), 1-16.
218. Er-Rafiqi. M., Roukoz. C., Le Gall. D., Roy. A., (2017). Les fonctions exécutives chez l'enfant : développement, influences culturelles et perspectives cliniques. *Revue de Neuropsychologie*. 9 (1) : 27-34.
219. Espy, K. A., Bull, R., Martin, J., et Stroup, W. (2006). Measuring the development of executive control with the shape school. *Psychological Assessment*, 18(4), 373–381.
220. Espy, K. A., McDiarmid, M. M., Cwik, M. F., Stalets, M. M., Hamby, A., et Senn, T. E. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematic skills in preschool children. *Developmental neuropsychology*, 26(1), 465-486.
221. Espy, K., A., et Bull, R., (2005) Inhibitory Processes in Young Children and Individual Variation in Short-Term Memory, *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 669-688.
222. Feeney, T. J. et Ylvisaker, M. (2003). Context-sensitive behavioral supports for young children with TBI: short-term effects and long-term outcome. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 18 (1), 33-51.
223. Fennell C.T., Heinlein K.B., Werker. J.F., Using Speech Sounds to Guide Word Learning: The Case of Bilingual Infants (2007). *Child Development*. 78, 1510-1525.
224. Ferguson, C. A. (1959). Diglossia, *Word*, 15(2), 325-340.
225. Fernyhough. Ch., Fradley, E. (2005). Private speech on an executive task: relations with task difficulty and task performance, *Cognitive Development*, 20, 103-120.
226. Ferrari, M., et Palladino, P. (2007). Foreign language learning difficulties in Italian children: Are they associated with other learning difficulties? *Journal of Learning Disabilities*, 40(3), 256-269.
227. Fischer, J. P., Vilette, B., Joffredo-Lebrun, S., Morellato, M., Le Normand, C., Scheibling-Seve, C., et Richard, J. F. (2019). Should we continue to teach standard written algorithms for the arithmetical operations? The example of subtraction. *Educational Studies in Mathematics*, 101(1), 105-121.
228. Fodor, J. A. (1975). *The language of thought*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

229. Fournier, M., et Albaret, J. M. (2015). Étalonnage des blocs de Corsi sur une population d'enfants scolarisés du CP à la 6e. *Développements*, 17(3), 76-82.
230. Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., et Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Current biology*, 22(9), 814-819.
231. Friedman NP, Miyake A, Young SE, DeFries JC, Corley RP, Hewitt JK. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology*, 2(137), 201-225.
232. Friedman, N. P., Corley, R. P., Hewitt, J. K. et Wright, K. P. (2009). Individual differences in childhood sleep problems predict later cognitive executive control. *Sleep*, 32, 323-333.
233. Friedman, N. P., et Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of experimental psychology: General*, 133(1), 101.
234. Friedman, N. P., et Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186–204.
235. Fuhs, M. W., et Day, J. D. (2011). Verbal Ability and Executive Functioning Development in Preschoolers at Head Start. *Developmental Psychology*, 47, 404-416.
236. Fuhs, M. W., et McNeil, N. M. (2013). ANS acuity and mathematics ability in preschoolers from low-income homes: Contributions of inhibitory control. *Developmental science*, 16(1), 136-148.
237. Fung, W., et Swanson, H. L. (2017). Working memory components that predict word problem solving: Is it merely a function of reading, calculation, and fluid intelligence? *Memory et Cognition*, 45(5), 804-823.
238. Gaillard, A, Fehring, DJ, Rossell, SL. (2021). A systematic review and meta-analysis of behavioral sex differences in executive control. *European journal of Neuroscience*, 53, 519– 542.
239. Garbin, G., Sanjuan, A., Forn, C., Bustamante, J.C., Rodriguez-Pujadas, A., Belloch V., Hernandez, M., Costa, A. et Avila C. (2010). Bridging language and attention: brain basis of the impact of bilingualism on cognitive control. *NeuroImage*, 53, 1272-1278.
240. Garcia-Krafes, E. et Sellal, F. (2015). Les substrats neurologiques du traitement du langage et du contrôle exécutif chez le bilingue, *ANAE*, 311-316.
241. Garon, N., Bryson, S. E. et Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31-60.

242. Gashap, V., Oberer, N., Mast, F.W. et Roebbers, C.M. (2019). Individual differences in basic numerical skills: The role of executive functions and motor skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 182, 187-195.
243. Gathercole S.E, Alloway T.D, Willis C, Adams A.M (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Experimental child psychology*, 93(3): 265-81.
244. Gathercole, S. E., et Pickering, S. J. (2000). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational Psychology*, 70 (2), 177-194.
245. Gathercole, S. E., Willis, C. S., Emslie, H., et Baddeley, A. D. (1992). Phonological memory and vocabulary development during the early school years: A longitudinal study. *Developmental Psychology*, 28(5), 887.
246. Gathercole, S.E., Pickering, S.J., Knight, C. et Stegmann, Z. (2003). Working memory skills and educational attainment: Evidence from National Curriculum assessments at 7 and 14 years of age. Henry, L.A. (2001). How does the severity of a learning disability affect working memory performance? *Memory*, 9, 233–247.
247. Gathercole, V. C. M., et Thomas, E. M. (2009). Bilingual first-language development: Dominant language takeover, threatened minority language take-up. *Bilingualism: language and cognition*, 12(2), 213-237.
248. Gatt D., Letts C., Klee T. (2008). Lexical mixing in the early productive vocabularies of Maltese children: Implications for intervention. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 22, 4-5, 267-274
249. Geary, D. C. et van Marle, K. (2016). Young Children's Core Symbolic and Nonsymbolic Quantitative Knowledge in the Prediction of Later Mathematics Achievement. *Developmental Psychology.*, 52(12), 2130-2144.
250. Geary, D. C., Hoard, M. K., et Hamson, C. O. (1999). Numerical and arithmetical cognition: Patterns of functions and deficits in children at risk for a mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74(3), 213-239.
251. Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., et Bailey, D. H. (2012). Mathematical cognition deficits in children with learning disabilities and persistent low achievement: a five-year prospective study. *Journal of educational psychology*, 104 (1), 206.
252. Gerardi-Caulton, G. (2000). Sensitivity to spatial conflict and the development of self-regulation in children 24–36 months of age. *Developmental Science*, 3 (4), 397–404.

253. Geva, E., et Siegel, L. S. (2000). Orthographic and cognitive factors in the concurrent development of basic reading skills in two languages. *Reading and Writing*, 12 (1), 1-30
254. Geva, E., et Yaghoub Zadeh, Z. (2006). Reading efficiency in native English-speaking and English-as-a-second-language children: The role of oral proficiency and underlying cognitive-linguistic processes. *Scientific Studies of Reading*, 10 (1), 31-57.
255. Giedd, J. N. (2008). The teen brain: insights from neuroimaging. *Journal of Adolescent Health*, 42(4), 335-343.
256. Girbau, D., et Schwartz, R. G. (2008). Phonological working memory in Spanish–English bilingual children with and without specific language impairment. *Journal of Communication Disorders*, 41(2), 124-145.
257. Godefroy, O. et GREFEX (Groupe de Réflexion pour l’Evaluation des Fonctions Exécutives). (2008). Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques : Evaluation en pratique clinique. Solal, Marseille.
258. Godefroy, O., Jeannerod, M., Allain, P., Le Gall, D. (2008). Lobe frontal, fonctions exécutives et controle cognitif, *Revue Neurologique*, 164, 119-S127.
259. Golberg, H., Paradis, J., et Crago, M. (2008). Lexical acquisition over time in minority first language children learning English as a second language. *Applied Psycholinguistics*, 29 (1), 41-65.
260. Golestani N, Price C, Scott SK. (2011). Born with an ear for dialects? Structural plasticity in the “expert” phonetician brain. *Journal of Neuroscience*, 31(11): 4213–4220.
261. Gollan, T. H., et Brown, A. S. (2006). From tip-of-the-tongue (TOT) data to theoretical implications in two steps: when more TOTs means better retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135(3), 462.
262. Gollan, T. H., Kleinman, D., et Wierenga, C. E. (2014). What’s easier: Doing what you want, or being told what to do? Cued versus voluntary language and task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(6), 2167.
263. Gollan, T. H., Montoya, R. I., et Werner, G. A. (2002). Semantic and letter fluency in Spanish-English bilinguals. *Neuropsychology*, 16(4), 562.
264. Gollan, T., Schotter, E., Gomez, J., Murillo, M., et Rayner, K. (2014). Multiple levels of bilingual language control: Evidence from language intrusions in reading aloud. *National Institutes of health*, 25, 2, 585–595.
265. Gollan, T.H., Montoya, R.I., Fennema , N., et Morris, S.K. (2005). Bilingualism affects picture naming but not picture classification. *Memory and Cognition*, 33, 1220-1234.

266. Gómez RL, Bootzin RR et Nadel L. (2006). Naps Promote Abstraction in Language-Learning Infants. *Psychological Science*. 17(8) :670-674.
267. Gordon, D., Mazaux, C., J.-M. et N'Kaoua, B. (2013). Bilinguisme et fonctionnement exécutif : les avantages cognitifs du bilingue. In : *Rééducation Orthophonique*, 253, 53-80.
268. Gottardo, A. et Grant, A. (2008). Defining bilingualism. *Encyclopedia of Language and Literacy Development* (pp.1-7). London, ON: *Canadian Language et Literacy Research Network*.
269. Gough, P. B., et Tunmer, W. (1986). Decoding, reading and reading disability. *Remedial and Special Education*, 7(1), 6-10.
270. Grainger, J., Dufau, S., et Ziegler, J. C. (2016). A vision of reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(3), 171-179.
271. Grant, D. A., et Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 38(4), 404-411.
272. Green, C. S., et Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: A review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychology and Aging*, 23(4), 692-701.
273. Grégoire, J. (2009). Chapitre 2. Le WISC-IV parmi les modèles de l'intelligence. Dans J. Grégoire (Éd.), *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant : Fondements et pratique du WISC-IV* (p. 61-64). Mardaga.
274. Grobon S, Panico L, Solaz A. (2019). Inégalités socio-économique dans le développement langagier et moteur des enfants à 2 ans. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*. (1), 2-9.
275. Gros, H., et Gvozdic, K. (2022). Context, Content Effects and Flexibility. *Cognitive Flexibility: The Cornerstone of Learning*, 203-232.
276. Gros, H., Sander, E., et Thibaut, J. P. (2019). When masters of abstraction run into a concrete wall: Experts failing arithmetic word problems. *Psychonomic Bulletin et Review*, 26(5), 1738-1746.
277. Gros, H., Thibaut, J. P., et Sander, E. (2020). Semantic congruence in arithmetic: A new conceptual model for word problem solving. *Educational Psychologist*, 55(2), 69-87.
278. Gros, S., et Zanon, M. (2020). Reinforcement learning for mixed-integer problems based on mpc. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 5219-5224.

279. Grosjean, F. (2010). *Bilingual: life and reality*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
280. Grüter, T. (2005). Comprehension and production of French object clitics by child second language learners and children with specific language impairment. *Applied Psycholinguistics*, 26(3), 363-391.
281. Guerra, A. (2020). Développement des fonctions exécutives chez l'enfant du nord-est du Brésil. Psychologie. Université d'Angers ; Universidade federal do Rio Grande do Norte (Natal, Brésil) Français.
282. Guerra, A., Combes, C., Hazin, I., Le Gall, D. et Roy, A. (2019). L'émergence et le développement des fonctions exécutives chez l'enfant : réflexions sur l'impact des aspects contextuels, culturels et de l'environnement numérique. *ANAE*, 167, 375-382.
283. Guo, T., et al. (2011), Local and global inhibition in bilingual word production: fMRI evidence from Chinese–English bilinguals. *NeuroImage*, 56, 2300-2309
284. Hackman, D., Farah, M. et Meaney, M. (2010). Socioeconomic status and the brain: mechanistic insights from human and animal research. *Nature Review Neuroscience* 11, 651–659.
285. Haft, S. L., Caballero, J. N., Tanaka, H., Zekelman, L., Cutting, L. E., Uchikoshi, Y., et Hoeft, F. (2019). Direct and indirect contributions of executive function to word decoding and reading comprehension in kindergarten. *Learning and Individual Differences*, 76, 101783.
286. Hagège, C. (1996). *L'enfant aux deux langues*. - Paris : Odile Jacob, 298.
287. Hajovsky, D., Reynolds, M. R., Floyd, R. G., Turek, J. J., et Keith, T. Z. (2014). A multigroup investigation of latent cognitive abilities and reading achievement relations. *School Psychology Review*, 43(4), 385-406.
288. Hakuta, K. (1985). Cognitive development in bilingual instruction. In: *Issues in English language development*, 63-67.
289. Hale, S., Bronik, M. et Fry, A. (1997). Verbal and spatial working memory in school-age children: developmental differences in susceptibility to interference. *Développemental Psychology*, 33(2), 364.
290. Hamers, J. F., et Blanc, M. (1983). *Bilinguisme et bilinguisme*. Bruxelles : Pierre Mardaga.
291. Hammarrenger, B. (2017). *10 questions sur le TDAH chez l'enfant et l'adolescent*. Québec: Midi Trente.

292. Harlow, J.M. (1868). Recovery from the Passage of an Iron Bar Through the Head. *Publications of the Massachusetts Medical Society*, 2, 327–347.
293. Hartanto, A., Toh, W. X., et Yang, H. (2018). Context counts: The different implications of weekday and weekend video gaming for academic performance in mathematics, reading, and science. *Computers et Education*, 120, 51-63.
294. Hartman, M., Bolton, E. et Fehnel, S.E (2001). Accounting for age differences on the Wisconsin Card Sorting Test: decreased working memory, not inflexibility. *Psychology and Aging*, 6 (3), 385-399.
295. Hatfield, B. E., Hestenes, L., L, Kintner-Duffy, V. L., O'Brien, M. (2013). Classroom Emotional Support predicts differences in preschool children's cortisol and alpha-amylase levels, *Early Childhood Research Quarterly*, 28 (2), 347-356.
296. Haznedar, B. et Schwartz, B.D. (1997). Are there Optional Infinitives in child L2 acquisition? In E. Hughes, M. Hughes et A. Greenhill (Eds.), Proceedings of the 21st Annual Boston University Conference on Language Development, *Cascadilla Press*, 21, 257-68.
297. Heinze, H.J., Fornells, A. R., Rotte, M., Nosselt, T. et Münte T. F. (2002). Brain potential and functional MRI evidence for how to handle two languages with one brain. *Nature*, 415, 1026-1029.
298. Helland, T., et Asbjørnsen, A. (2000). Executive functions in dyslexia. *Child Neuropsychology*, 6(1), 37-48.
299. Hernandez, A. E., Martinez, A., Kohnert, K. (2000). In Search of the Language Switch: An fMRI Study of Picture Naming in Spanish–English Bilinguals, *Brain and Language* 73(3): 421-431.
300. Hervais-Adelman, A., G., Moser-Mercer, B., et Golestani, N. (2011), Executive control of language in the bilingual brain: integrating the evidence from neuroimaging to neuropsychology. *Frontiers in Psychology*, 2, 234.
301. Hodel, A. S. (2018). Rapid infant prefrontal cortex development and sensitivity to early environmental experience. *Developmental Review*, 48, 113-144.
302. Hoff, E. (2003). The specificity of environmental influence: Socioeconomic status affects early vocabulary development via maternal speech. *Child development*, 74(5), 1368-1378.

303. Holmboe, K., Fearon, R. P., Csibra, G., Tucker, L. A., et Johnson, M. H. (2008). Freeze-Frame: A new infant inhibition task and its relation to frontal cortex tasks during infancy and early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 100(2), 89-114.
304. Holmes, J., et Adams, J. W. (2006). Working memory and children's mathematical skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational Psychology*, 26(3), 339-366.
305. Holmes, J., Adams, J. W., et Hamilton, C. J. (2008). The relationship between visuospatial sketchpad capacity and children's mathematical skills. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(2), 272-289.
306. Holmes J, Gathercole SE, Dunning DL. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Development Science*, 12, 9–15.
307. Holmes, J., Gathercole, S., Place, M., Alloway, T., Elliott, J., et Hilton, K. (2010). The diagnostic utility of executive function assessments in the identification of ADHD in children. *Child and Adolescent Mental Health*, 15, 37-43.
308. Hooper, S. R., Swartz, C. W., Wakely, M. B., de Kruif, R. E., et Montgomery, J. W. (2002). Executive functions in elementary school children with and without problems in written expression. *Journal of Learning Disabilities*, 35(1), 57–68.
309. Hostinar, C., Stellern, S., A., Schaefer, C., et Gunnar., M. (2012). Associations between early life adversity and executive function in children adopted internationally from orphanages. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (2), 17208-17212.
310. Hoteit, S. (2010). *Enseignement-apprentissage du français au sud du Liban : didactique contextualisée et intégration dans une dynamique culturelle francophone ?* Doctoral dissertation, Université Rennes 2 ; Université Européenne de Bretagne.
311. Hoteit, S. 2011, *Enseignement-apprentissage du français au Sud du Liban : Didactique contextualisé et intégration dans une dynamique culturelle francophone*, Thèse de doctorat, Université de Rennes.
312. Houdé, O. (2016). Éducation et développement cognitif de l'enfant. *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 54-56.
313. Houdé, O. (2018). *L'école du cerveau : De Montessori, Freinet et Piaget aux sciences cognitives*. Wavre, Belgique : Mardaga.
314. Houdé, O. et Borst, G. (2018). *Le cerveau et les apprentissages*. Nathan : France.

315. Houdé. O, Rossi. S, Lubin. A, et Joliot. M. (2010). Mapping numerical processing, reading, and executive functions in the developing brain: an fmri meta-analysis of 52 studies including 842 children. *Dev. Sc*, 13 (6): 876-85.
316. Hoyek S. (2004). Le français dans l'enseignement scolaire et universitaire du Liban. Dans *Cahiers de l'Association internationale des études françaises*, volume 56, p. 49-56.
317. Hoyek, S. Le français dans l'enseignement scolaire et universitaire au Liban. (2004). In: *Cahiers de l'Association internationale des études françaises*, 56, 49-56.
318. Huizinga, M., Dolan, C.V., et Van der Molen, M. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017-2036.
319. Hung, C. O. (2021). The role of executive function in reading comprehension among beginning readers. *British Journal of Educational Psychology*, 91, 600-616.
320. Ivanova, I., et Costa, A. (2008). Does bilingualism hamper lexical access in speech production. *Acta Psychologica*, 127, 277-288.
321. Izard, C., Stark, K., Trentacosta, C., et Schultz, D. (2008). Beyond emotion regulation: Emotion utilization and adaptive functioning. *Child Development Perspectives*, 2, 156–163.
322. Jabbour, D., Z. (2004). La francophonie au Liban et les défis de la mondialisation. *Cahiers de l'association internationale des études françaises*, 17-33.
323. Jacob, R. et Parkinson, J. (2015). The Potential for School-Based Interventions That Target Executive Function to Improve Academic Achievement: A Review. *Review of Educational Research*, 85 (4), 512-552.
324. Jacquier-Roux, M., Lequette, C., Pouget, G., Valdois, S. et Zorman, M. (2010). *La Batterie Analytique du Langage Ecrit (BALE)*. Grenoble: Groupe Cogni-Sciences.
325. Jacquier-Roux, M., Valdois, S., Zorman, M., Lequette, C., et Pouget, G. (2005). ODEDYS : Outil de Dépistage des Dyslexies - Version 2. Grenoble: *Groupe Cogni-Sciences*.
326. Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Jonides, J., et Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(19), 6829-6833.
327. Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Jonides, J., et Shah, P. (2011). Short-and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(25), 10081–10086.

328. Jalali-Moghadam, N., et Kormi-Nouri, R. (2015). The role of executive functions in bilingual children with reading difficulties. *Scandinavian journal of psychology*, 56(3), 297-305.
329. Jarvis, H. L., et Gathercole, S. E. (2003). Verbal and non-verbal working memory and achievements on national curriculum tests at 11 and 14 years of age. *Educational and Child Psychology*, 20(3), 123-140.
330. Jasińska, K. K., Frost, S., Molfese, P., Landi, N., Mencl, W.E., Rueckl, J., et Pugh, K. (2016). Neuroimaging perspectives on skilled and impaired reading and the bilingual experience. In *Reading Fluency*. Springer International Publishing. 25-49.
331. Jeffries, S., et Everatt, J. (2004). Working memory: its role in dyslexia and other specific learning difficulties. *Dyslexia*, 10(3), 196–214.
332. Johnson, J. S., et Newport, E. L. (1989). Critical period effects in second language learning: the influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognitive Psychology*, 21 (1), 60-99.
333. Johnson, S. B., Riis, J. L., et Noble, K. G. (2016). State of the Art Review: Poverty and the Developing Brain. *Pediatrics*, 137(4).
334. Kapa, L. L., et Colombo, J. (2013). Attentional control in early and later bilingual children. *Cognitive development*, 28(3), 233-246.
335. Karbach J, Kray J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Development Science*.12(6):978-90.
336. Karbach, J., et Unger, K. (2014). Executive control training from middle childhood to adolescence. *Frontiers In Psychology*, 5, 390.
337. Karbach, J., Kray, J. (2016). Executive Functions. In: Strobach, T., Karbach, J. (eds) *Cognitive Training*. Springer, Cham.
338. Katz, B., Jones, M.R., Shah, P., Buschkuehl, M., Jaeggi, S.M. (2016). Individual Differences and Motivational Effects. In: Strobach, T., Karbach, J. (eds) *Cognitive Training*. Springer, Cham.
339. Kechichian. A. (2020). Fonctions exécutives et orthographe : développement et lien chez les enfants libanais bilingues francophones du CE 1 au CM1. Université de Toulouse II.
340. Kern, S. (2003). Le compte-rendu parental au service de l'évaluation de la production lexicale des enfants français entre 16 et 30 mois. *Glossa* (85), 48-62.

341. Kern, S., Langue, J., Zesiger, P., et Bovet, F. (2010). Adaptations françaises des versions coutes des inventaires du développement communicatif de MacArthur-Bates. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 107(108), 217-228.
342. Kerrigan, L., Thomas, M.S., Bright, P., et Filippi, R. (2017). Evidence of an advantage in visuo-spatial memory for bilingual compared to monolingual speakers. *Bilingualism language and Cognition*, 20(3), 602-612.
343. Khoury, A., C. (1998). *Didactique du français langue étrangère/seconde : pour un renouveau méthodologique de l'enseignement/apprentissage du français au Liban* (Thèse de doctorat non publiée). Université Nancy 2.
344. Kibby, M. Y., Lee, S. E., et Dyer, S. M. (2014). Reading performance is predicted by more than phonological processing. *Frontiers in Psychology*, 5, 960.
345. Kieffer, M. J., Vukovic, R. K., et Berry, D. (2013). Roles of attention shifting and inhibitory control in fourth-grade reading comprehension. *Reading Research Quarterly*, 48(4), 333-348.
346. Kihlstedt, M., Schlyter, S. (2009). Emploi de la morphologie temporelle en français L2 : étude comparative auprès d'enfants monolingues et bilingues de 8 à 9 ans, *Acquisition et Interaction en Langue Étrangère*, 1, 89-115
347. Kirkham, N.Z., Cruess, L. and Diamond, A. (2003), Helping children apply their knowledge to their behavior on a dimension-switching task. *Developmental Science*, 6: 449-467.
348. Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(7), 317-324.
349. Kloo, D., et Perner, J. (2003). Training transfer between card sorting and false belief understanding: helping children apply conflicting descriptions. *Child Development*, 74, 1823-1839.
350. Kohl, M., Beauquier - Maccota, B., Bourgeois, M., Clouard, Ch., Donde, S., Mosser, A., Pinot, P., Rittori, G., Vaivre - Douret, L., Golse B. et Robel L. (2008). Bilinguisme et troubles du langage chez l'enfant : étude rétrospective. *La Psychiatrie de l'Enfant*, 51, 577-595.
351. Kohli, S., Fisher, s., G., Tra, Y. et al. (2009). The effect of modanil on cognitive function in breast cancer survivors. *Cancer* ; 115 (12), 2605-2616.

352. Kohnert, K., Yim, D., Nett, K., Kan, P. F., et Duran, L. (2005). Intervention with linguistically diverse preschool children. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 36 (3). 251-263.
353. Kolb, B., Forgie, M., Gibb, R., Gorny, G. et Rowntree, S. (1998). Age, experience, and the changing brain. *Neuroscience and Bio- behavioral Reviews*, 22, 143-159.
354. Könen, T., et Karbach, J (2015). The benefits of looking at intraindividual dynamics in cognitive training data. *Frontiers in Psychology*, 6, 615.
355. Könen, T., Strobach, T., Karbach, J. (2016). Working Memory. In: Strobach, T., Karbach, *Cognitive Training*. Springer, Cham. 59-68.
356. Konrad, K., Neufang, S., Thiel, C.M., Specht, K., Hanisch, C., Fan, J., et al. (2005). Development of attentional networks: An fMRI study with children and adults. *NeuroImage*, 28, 429-439.
357. Köpke, B. (2009). Evaluation des capacités langagières en milieu multilingue. *4ème Congrès des Amériques des Orthophonistes de la Guadeloupe*, Baie-Mahault (Guadeloupe), 22-24 octobre (publication sur CD-ROM).
358. Köpke, B. (2013). Bilinguisme et Aphasie. In: *Rééducation Orthophonique*, 253, 5-30.
359. Korkman, M., Mikkola, K., Ritari, N., Tommiska, V., Salokorpi, T., Haataja, L., Tammela, O., Pääkkönen, L., Olsén, P et Vineta Fellman, V. (2008). Neurocognitive Test Profiles of Extremely Low Birth Weight Five-Year-Old Children Differ According to Neuromotor Status, *Developmental Neuropsychology*, 33:5, 637-655.
360. Kotob, H. (2002). *Bilingue malgré lui !* In : Université de Balamand (Ed.), La Psycholinguistique au Liban : Etat des lieux. *Université de Balamand*. 59-75.
361. Kouloughli, D. E. (1994). *Grammaire de l'arabe d'aujourd'hui*. Paris: Pocket.
362. Krasny-Pacini, A., limond, J., Evans, J., Hiebel, J., Bendje-Lida K. et Chevignard, M. P. (2015). Self-awareness assessment during cognitive rehabilitation in children with acquired brain injury: a feasibility study and proposed model of child anosognosia. *Disability and Rehabilitation*, 1-15.
363. Kray, J., Eber, J., et Karbach, J. (2008). Verbal self-instructions in task switching: a compensatory tool for action-control deficits in childhood and old age? *Developmental Science*, 11, 223– 236.
364. Krikorian, R., Bartok, J., et Gay, N., (1994) Tower of london procedure: A standard method and developmental data, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16:6, 840-850.

365. Kroesbergen, E. H., van Luit, J. E. H., van de Rijt, B. A. M., van Lieshout, E. C. D. M. et van Loosbroek, E. (2009). Individual differences in early numeracy: The role of executive functions and subitizing. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27, 226-236.
366. Lallier, M., et Carreiras, M. (2017). Cross-linguistic transfer in bilinguals reading in two alphabetic orthographies: The grain size accommodation hypothesis. *Psychonomic Bulletin et Review*. 25(1), 386-401.
367. Lan, X., Legare, C. H., Ponitz, C. C., Li, S. et Morrison, F. J. (2011). Investigating the links between the subcomponents of executive function and academic achievement: A cross-cultural analysis of Chinese and American preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108, 677-692.
368. Lancelot C, Speranza M, Roy A. (2012). Les troubles du traitement et de la régulation des émotions : approche neuropsychologique et neuropsychiatrique. In : Allain P, Aubin G, Le Gall D. *Cognition Sociale et Neuropsychologie*. Marseille : Solal, 205-32.
369. Landerl, K., Fussenegger, B., Moll, K., et Willburger, E. (2009). Dyslexia and dyscalculia: two learning disorders with different cognitive profiles. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(3), 309–324.
370. Landry, S. H., Miller-Loncar, C. L., Smith, K. E., et Swank, P. R. (2002). The role of early parenting in children's development of executive processes. *Developmental Neuropsychology*, 21, 15-41.
371. Lanoë, C., Lubin A., Vidal, J., Houdé O. et Borst G. (2016). Inhibitory control is needed to overcome written verb inflection errors: Evidence from a developmental negative priming study. *Cognitive Development*, 37, 18-27.
372. Lawson, G. M., Hook, C. J., et Farah, M. J. (2017). A meta-analysis of the relationship between socioeconomic status and executive function performance among children. *Developmental Science*, 1–22.
373. Lawson, G.M., Duda, J.T., Avants, B.B., Wu, J. and Farah, M.J. (2013), Associations between children's socioeconomic status and prefrontal cortical thickness. *Developmental Science*, 16, 641-652.
374. Leclerc, J. (2015). Liban dans l'aménagement linguistique dans le monde, Québec, CEFAN, Université Laval. Retrieved from <http://www.axl.cefan.ulaval.ca/asie/liban.htm>
375. Lee, K., Bull, R. et Ho, R. M. H. (2013). Developmental changes in executive functioning. *Child Development*, 84(6), 1933- 1953.

376. Lehtonen, M., Soveri, A., Laine, A., Järvenpää, J., De Bruin, A., et Antfolk, J. (2018). Is bilingualism associated with enhanced executive functioning in adults? A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, 144(4), 394.
377. Leibovich, T., et Ansari, D. (2016). The symbol-grounding problem in numerical cognition: A review of theory, evidence, and outstanding questions. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 70(1), 12.
378. Lesaux, N. K., et Siegel, L. S. (2003). The development of reading in children who speak English as a second language. *Developmental Psychology*, 39(6), 1005.
379. Li-Grining, C. P. (2007). Effortful control among low-income preschoolers in three cities: Stability, change, and individual differences. *Developmental Psychology*, 43, 208–221.
380. Li, S., C. et al. Working memory plasticity in old age: practice gain, transfer, and maintenance. (2008). *Psychological Aging*, 23, 731-742
381. Lilliard, A et Else-Quest, N. (2006). Evaluating Montessori Education. *Science*, 333(6045), 959-964.
382. Linck, J. A., Osthus, P., Koeth, J. T., et Bunting, M. F. (2014). Working memory and second language comprehension and production: A meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 21(4), 861-883.
383. Livesey, D., Keen, J., Rouse, J. et White, F. (2006). The relation between measures of executive function, motor performance and externalising behaviour in 5- and 6-year-old children. *Human Movement Science*, 25, 50-64.
384. Locascio, G., Mahone, E. M., Eason, S. H., et Cutting, L. E. (2010). Executive dysfunction among children with reading comprehension deficits. *Journal of Learning Disabilities*, 43(5), 441–454.
385. Logie, R. H. (2011). The functional organization and capacity limits of working memory. *Current Directions in Psychological Science*, 20(4), 240-245.
386. Longuenesse, É. (2015). Travailleurs étrangers, réfugiés syriens et marché du travail. *Confluences Méditerranée*, 92(1), 33-47.
387. Lubin, A., Regrin, E., Boulc'h, L., Pacton, S., et Lanoë, C. (2016). Executive functions differentially contribute to fourth graders' mathematics, reading, and spelling skills. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 15(3), 444–463.
388. Lubin, A., Vidal, J., Lanoë, C., Houdé, O., et Borst, G. (2013). Inhibitory control is needed for the resolution of arithmetic word problems: A developmental negative priming study. *Journal of Educational Psychology*, 105(3), 701.

389. Lüdi, G. (1998). L'enfant bilingue : chance ou surcharge ? In Conférence suisse des directeurs cantonaux de l'instruction publique de l'instruction publique. Quelles langues apprendre en Suisse pendant la scolarité obligatoire ? CDIP : Berne.
390. Lüdi, G., Py, B. (2003). *Être bilingue*. Berne : Peter Lang.
391. Luk, G., Anderson, J.A, Craik, F.I, Grady, C. et Bialystok, E. (2010). Distinct neural correlates for two types of inhibition in bilinguals: response inhibition versus interference suppression. *Brain Cognition*, 74:347-357.
392. Luk, G., Bialystok, E., Craik, F.I. et Grady, C.L. (2011). *Lifelong bilingualism maintains white matter integrity in older adults*. *Journal of Neuroscience*, 31, 16808-13.
393. Luna, Beatriz et Padmanabhan, Aarthi et O'Hearn, Kirsten. (2009). Luna B, Padmanabhan A, O'Hearn K. What has fMRI told us about the development of cognitive control through adolescence? *Brain and Cognition*. 72. 101-113.
394. Luria, A. R. (1966). *Human brain and psychological processes*. New York: Harper et Row.
395. Lussier, F. et Flessas, J. (2009). Neuropsychologie de l'enfant : troubles développementaux et de l'apprentissage (2^e éd.). Paris, France : Dunod.
396. Madieu, E et Swiatek, C. (2018). Programme de rééducation fonctionnelle psychomotrice des fonctions exécutives de l'enfant et de l'adolescent. Deboeck. Paris.
397. Maehler, C., Joerns, C., et Schuchardt, K. (2019). Training Working Memory of Children with and without Dyslexia. *Children*, 6(3), 47.
398. Majerus, S., et Poncelet, M. (2017). Dyslexie et déficits de la mémoire à court terme/de travail : implications pour la remédiation. *ANAE : Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 148, 295-302.
399. Manly, T., Robertson, I. H., Anderson, V., et Mimmo-Smith, I. (2006). TEA-Ch : test d'évaluation de l'attention chez l'enfant. *Editions du Centre de Psychologie Appliquée*.
400. Marzocchi, G. M., Oosterlaan, J., Zuddas, A., Cavolina, P., Geurts, H., Redigolo, D., Vio, C., et Sergeant, J. A. (2008). Contrasting deficits on executive functions between ADHD and reading disabled children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 49(5), 543-552.
401. Masten, A. S., Herbers, J. E., Desjardins, C. D., Cutuli, J., McCormick, C. M., Sapienza, J. K., Long, J. D., et Zelazo, P. D. (2012). Executive function skills and school success in young children experiencing homelessness. *Educational Researcher*, 41, 375-384.

402. Matsuda, T., Takayama, T., Tashiro, M et al. (2005). Mild cognitive impairment after adjuvant chemotherapy in breast cancer patients-evaluation of appropriate research design and methodology to measure symptoms. *Breast Cancer*, 12 (4): 279-87.
403. Matthews, G., Zeidner, M., and Roberts, R.D. (2012). *Emotional Intelligence*. 101. New York, Springer.
404. Mayes, S. D., Calhoun, S. L., Bixler, E. O., et Zimmerman, D. N. (2009). IQ and neuropsychological predictors of academic achievement. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 238-241.
405. Mayes, T., Morrison, D., Mellar, H., Bullen, P., Oliver, M., (2009). Transforming higher education through technology enhanced learning. *Transformation*, 44.
406. Mazeau, M. (2005), Troubles cognitifs, déficience mentale, troubles spécifiques des apprentissages : un mot peut en cacher un autre. *Contraste*, 1, 187-207.
407. Mazeau, M. (2005). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages : du symptôme à la rééducation*. Paris : Elsevier Masson.
408. Mazeau, M. et Pouhet, A. (2016). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages chez l'enfant, du développement typique aux « dys »*. Issy-les Moulineaux, Elsevier Masson.
409. Mazeau, M. (2005). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages : du symptôme à la rééducation*. Paris: Masson.
410. McLean, J. F., et Hitch, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74(3), 240-260.
411. Mechelli, A., Crinion, J., Noppeney, U. et al. (2004). Structural plasticity in the bilingual brain. *Nature*, 431, 757 (2004).
412. Megías, P., Macizo, P., et Herrera, A. (2015). Simple arithmetic: evidence of an inhibitory mechanism to select arithmetic facts. *Psychological research*, 79(5), 773-784.
413. Meiri, R., Levinson, O., et Horowitz-Kraus, T. (2019). Altered association between executive functions and reading and math fluency tasks in children with reading difficulties compared with typical readers. *Dyslexia*, 25(3), 267–283.
414. Meisel, J.M. (2009). Second language acquisition in early childhood. *The Zeitschrift Für Sprachwissenschaft*, 28, 5-34.
415. Meixner, J. M., Warner, G. J., Lensing, N., Schiefele, U., et Elsner, B. (2019). The relation between executive functions and reading comprehension in primary-school students: A cross-lagged-panel analysis. *Early Childhood Research Quarterly*, 46, 62-74.

416. Melby-Lervåg, M., et Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 49(2), 270–291.
417. Meltzer, L. et Bagnato, J. S. (2010). Shifting and flexible problem solving: The anchors for academic success. Dans L. Meltzer (Éd.), *Promoting executive function in the classroom*. New York: The Guilford Press. 140-159.
418. Menghini, D., Finzi, A., Benassi, M., Bolzani, R., Facoetti, A., Giovagnoli, S., Ruffino, M., et Vicari, S. (2010). Different underlying neurocognitive deficits in developmental dyslexia: A comparative study. *Neuropsychologia*, 48(4), 863-872.
419. Merchant, T., E., Conklin, H., M., Wu, S., Lustig, R., H., Xiong, X. (2009). Late effects of conformal radiation therapy for pediatric patients with low grade glioma: prospective evaluation of cognitive, endocrine and hearing deficits. *Clinical Oncology*, 27 (22): 3691-7.
420. Meyer, M.S., Wood, Hart, F.B, Felton, R.H. (1998). Selective predictive value of rapid automatized naming in poor readers. *Journal of Learning Disabilities*, 31, 17-106.
421. Michael, E. et Gollan, T.H. (2005). Being and becoming bilingual: individual differences and consequences for language production. In Kroll, J. F., et De Groot, A. B. (Eds.), *Handbook of bilingualism: Psycholinguistic approaches*, New-York: Oxford University Press, 389-407.
422. Ministère de l'éducation nationale (1997), *Les objectifs des programmes scolaires libanais*. Liban.
423. Mischel, W., et Moore, B. (1973). Effects of attention to symbolically presented rewards on self-control. *Journal of Personality and Social Psychology*, 28(2), 172–179.
424. Mischel, W., Shoda, Y., et Rodriguez, M. L. (1989). Delay of gratification in children. *Science*, 244 (4907), 933–938.
425. Miyake, A. et Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14.
426. Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., et Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100.

427. Moarbes, L. et Tawk, M., (2015). Influence de la mémoire de travail sur la lecture chez les enfants libanais bilingues. Étude réalisée en orthophonie dans le cadre d'un travail de master. Université Saint-Joseph. Beyrouth.
428. Mohades, S.G. *et al.* (2011). DTI reveals structural differences in white matter tracts between bilingual and monolingual children. *Brain Research*. 1435, 72-80.
429. Monette, S., Bigras, M., et Guay, M. C. (2011). The role of the executive functions in school achievement at the end of Grade 1. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109(2), 158-173.
430. Monette, S., et Bigras, M. (2008). La mesure des fonctions exécutives chez les enfants d'âge préscolaire. *Canadian Psychology*, 49(4), 323-341.
431. Montanari, E. (2010). Kindliche Mehrsprachigkeit: Determination und Genus (PhD dissertation). Waxmann.
432. Moret, A., et Mazeau, M. (2019). Le syndrome dys-exécutif chez l'enfant et l'adolescent : Répercussions scolaires et comportementales (2^e éd.). Elsevier Massion.
433. Moret, M., Mazeau, M. (2013). Le syndrome dys-exécutif chez l'enfant et l'adolescent répercussions scolaires et comportementales. France : Elsevier Masson.
434. Morgan, P. L., Farkas, G., Hillemeier, M. M., Pun, W. H., et Maczuga, S. (2019). Kindergarten Children's Executive Functions Predict Their Second-Grade Academic Achievement and Behavior. *Child Development*, 90 (5), 1802–1816.
435. Morgan, P. L., Farkas, G., Wang, Y., Hillemeier, M. M., Oh, Y., et Maczuga, S. (2019). Executive function deficits in kindergarten predict repeated academic difficulties across elementary school. *Early Childhood Research Quarterly*, 46, 20-32.
436. Morgan. P. L., Li., H; Farkas. G., Cook., M., Pun., W. H., Hillemeier. M. M. (2016). Executive functioning deficits increase kindergarten children's risk for reading and mathematics difficulties in first grade. *Contemporary Educational Psychology*. 50. 23-32.
437. Moriguchi, Y., Chevalier, N. et Zelazo, P. (2016). Development of Executive Function during Childhood. *Frontiers in Psychology*, 7(6), 1-2.
438. Moutier, S., et Houdé, O. (2003). Judgement under uncertainty and conjunction fallacy inhibition training. *Thinking et Reasoning*, 9(3), 185-201.
439. Mulder. H., Pitchford, N., j. Hagger, M., S., et al. (2009). Development of executive function and attention in preterm children: a systematic review. *Development Neuropsychology*, 34: 393-421.

440. Müller, U., Steven Dick, A., Gela, K., Overton, W. F., et Zelazo, P. D. (2006). The role of negative priming in preschoolers' flexible rule use on the dimensional change card sort task. *Child development*, 77(2), 395-412.
441. Müller, U., Zelazo, P. D., Leone, T. et Hood, S. (2004). Interference control in a new rule use task: Age-related changes, labeling, and attention. *Child Development*, 75, 1594-1609.
442. Murray, G. K., Veijola, J., Moilanen, K., Miettunen, J., Glahn, D. C., Cannon, T. D., Jones, P. B. et Isohanni, M. (2006). Infant motor development is associated with adult cognitive categorization in a longitudinal birth cohort study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47, 25-29.
443. Naaman, Abdallah (1979). *Le français au Liban : essai socio-linguistique*. Editions Neeman, Beyrouth Université. René Descartes, Paris V.
444. Ng, S. F., et Lee, K. (2009). The model method: Singapore children's tool for representing and solving algebraic word problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 40(3), 282-313.
445. Nichols, E. S., Wild, C. J., Stojanoski, B., Battista, M. E., et Owen, A. M. (2020). Bilingualism affords no general cognitive advantages: A population study of executive function in 11,000 people. *Psychological Science*, 31(5), 548-567.
446. Nicoladis, E. et Grabois, H. 2002. Learning English and losing Chinese: A case study of a child adopted from China. *International Journal of Bilingualism*, 6, 441-454.
447. Nicolay, A. et Poncelet, M. (2013). Cognitive advantage in children enrolles in a second-language immersion elementary school program for three years. *Bilingualism: Language and Cognition*, 16 (3), 597-607.
448. Niklas-Salminen, A. (2011). *Le bilinguisme chez l'enfant. Etude d'un cas de bilinguisme précoce simultané français-finnois*. Aix-en-Provence : Publications de l'Université de Provence.
449. Nimer, M. 2013. « Liban : « misère » de l'école publique », Les carnets de l'IFPO (Institut français du Proche Orient).
450. Noble, K. G., Norman, M. F. et Farah, M. J. (2005). Neurocognitive correlates of socioeconomic status in kindergarten children. *Developmental Science*, 8, 74-87.
451. Noël, M-P., Bastin, L., Schneider, J et Pottelle, D. (2007). Rééducation neuropsychologique des troubles de l'attention et de l'inhibition chez l'enfant. *ANAE*. 93; 156-162.

452. Noël, M. P. (2009). Counting on working memory when learning to count and to add: a preschool study. *Developmental Psychology*, 45(6), 1630.
453. Norman, D. A., et Shallice, T. (1986). Attention to action. In *Consciousness and self-regulation* (pp. 1-18). Springer, Boston.
454. Nouwens, S., Groen, M. A., et Verhoeven, L. (2017). How working memory relates to children's reading comprehension: the importance of domain-specificity in storage and processing. *Reading and writing*, 30(1), 105-120.
455. Obradović, J., Portilla, X. A., et Boyce, W. T. (2012). Executive functioning and developmental neuroscience: Current progress and implications for early childhood education. *Handbook of Early Childhood Education*, 324-351.
456. Oh, S. et Lewis, C. (2008). Korean preschoolers' advanced inhibitory control and its relation to other executive skills and mental state understanding. *Child Development*, 79, 80-99.
457. Overman, W. H., Pate, B. J., Moore, K., et Peuster, A. (1996). Ontogeny of place learning in children as measured in the Radial Arm Maze, Morris Search Task, and Open Field Task. *Behavioral Neuroscience*, 110(6), 1205-1228.
458. Paap, K.R et Greenberg, Z.I. (2013). There is no coherent evidence for a bilingual advantage in executive processing. *Cognitive Psychology*, 66(2), 232-258.
459. Paap, KR. Johnson, HA. et Sawi, O. (2015). Bilingual advantages in executive functioning either do not exist or are restricted to very specific and undetermined circumstances. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 69, 265-278.
460. Paradis, J. (2010). The interface between bilingual development and specific language impairment. *Applied Psycholinguistics*, 31, 3-28.
461. Paradis, J. (2011). Individual differences in child English second language acquisition: Comparing child-internal and child-external factors. *Linguistic Approaches to Bilingualism*, 1(3), 213-237.
462. Paradis, J., Crago, M., et Bélanger, C. (2005). Le développement langagier bilingue chez les enfants : incidence sur l'évaluation du trouble primaire du langage. *Fréquences*, 17, 3, 27-30.
463. Paradis, J., Genesee, F., et Crago, M. B. (2011). Dual Language Development and Disorders: A Handbook on Bilingualism and Second Language Learning. *Brookes Publishing Company*.

464. Paradis, M. (2004). *A neurolinguistic theory of bilingualism* (Vol. 18). John Benjamins Publishing.
465. Park, J., Weismer, E. S. et Kaushanskaya, M. (2018). Changes in executive function over time in bilingual and monolingual school-aged children. *Developmental Psychology*, 54(10), 1842-1853.
466. Parker, J., Green, Ö., Grogan, D., W., Pliatsikas, A., Filippopolitis, K., Ali, N., et al. (2011). Where, When and why brain activation differs for bilinguals and monolinguals during picture naming and reading aloud. *Cerebral Cortex*, 22, 892-902.
467. Parkington, J.E. et Leiter, R.G. (1949). Partington's Pathway Test. *The Psychological Service Center Bulletin*. 1, 9-20.
468. Pasqualotto, A., et Venuti, P. (2020). A Multifactorial Model of Dyslexia: Evidence from Executive Functions and Phonological-based Treatments. *Learning Disabilities Research et Practice*, 35(3), 150-164.
469. Passolunghi, M. C., et Siegel, L. S. (2001). Short-term memory, working memory, and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80(1), 44-57.
470. Paulesu, E., Démonet, J. F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., et Frith, U. (2001). Dyslexia: Cultural diversity and biological unity. *Science*, 291(5511), 2165-2167.
471. Peal, E. et Lambert, W.E. (1962). The relation of bilingualism to intelligence. *Psychological Monographs*, 76 (27): 1-23.
472. Peng, P., Barnes, M., Wang, C., Wang, W., Li, S., Swanson, H. L., Dardick, W., et Tao, S. (2018). A meta-analysis on the relation between reading and working memory. *Psychological Bulletin*, 144(1), 48-76.
473. Perani, D., Farsad, M., Ballarini, T., Lubian, F., Malpetti, M., Fracchetti, A., Abutalebi, J. (2017). The impact of bilingualism on brain reserve and metabolic connectivity in Alzheimer's dementia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1690-1695.
474. Petiniot, M. J. (2016). Comprendre les DYStérences ou l'effet boule de neige des troubles spécifiques de l'apprentissage chez l'enfant. Bruxelles, Erasme.
475. Petit, J. (2001). L'immersion, une révolution. Colmar: J. D. Bentzinger Editeur.

476. Pham, A. V., et Hasson, R. M. (2014). Verbal and Visuospatial Working Memory as Predictors of Children's Reading Ability. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 29(5), 467-477.
477. Piaget, J. (1937). La construction du réel chez l'enfant. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
478. Pitres, A. (1884). Considérations sur l'agraphie. *Revue de Médecine*, 855-873.
479. Plaza, M., et Raynaud, S. (2007). Dyslexie et traitement plurimodal : de l'autre côté du miroir. *Le Journal des Psychologues*, (8), 31-35.
480. Poarch, G. J., et Van Hell, J. G. (2012). Executive functions and inhibitory control in multilingual children: Evidence from second-language learners, bilinguals, and trilinguals. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(4), 535-551.
481. Polderman TJ, Gosso MF, Posthuma D, Van Beijsterveldt TC, Heutink P, Verhulst FC, Boomsma DI. (2006). A longitudinal twin study on IQ, executive functioning, and attention problems during childhood and early adolescence. *Acta Neurol*, 106(4):191-207.
482. Portocarrero, J. S., Burright, R. G., et Donovan, P. J. (2007). Vocabulary and verbal fluency of bilingual and monolingual college students. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22(3), 415-422.
483. Posner, M. I., Rothbart, M. K., Sheese, B. E. et Voelker, P. (2011). Control networks and neuromodulators of early development. *Developmental Psychology*, 48, 827-835.
484. Poulet, I. (2012). Les troubles spécifiques des apprentissages à l'école et au collège. *Chronique sociale*.
485. Prinzmetal, W., Ivry, R. B., Beck, D., et Shimizu, N. (2002). A measurement theory of illusory conjunctions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(2), 251.
486. Proctor, C. P., Carlo, M., August, D., et Snow, C. (2005). Native Spanish-speaking children reading in English: Toward a model of comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 97(2), 246.
487. Purpura, D. J., Schmitt, S. A. et Ganley, C. M. (2017). Foundations of mathematics and literacy: The role of executive functioning components, *Journal of Experimental Child Psychology*, 153, 15-34.
488. Raddatz, J., Kuhn, J. T., Holling, H., Moll, K., et Dobel, C. (2017). Comorbidity of arithmetic and reading disorder: Basic number processing and calculation in children with learning impairments. *Journal of Learning Disabilities*, 50(3), 298-308.

489. Raghubar, K. P., Barnes, M. A., et Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 110-122.
490. Ragni, M., Kola, I., et Johnson-Laird, P. N. (2018). On selecting evidence to test hypotheses: A theory of selection tasks. *Psychological Bulletin*, 144(8), 779.
491. Ramus, F. (2004). Neurobiology of dyslexia: A reinterpretation of the data. *Trends in Neurosciences*, 27(12), 720-726.
492. Ranta, L. (2002). The role of learners' language analytic ability in the communicative classroom. In P. Robinson (Ed.), *Individual differences and instructed language learning* (p.159-181). Amsterdam, John Benjamins.
493. Rasmussen, C., et Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91(2), 137-157.
494. Ratiu, I., et Azuma, T. (2015). Working memory capacity: Is there a bilingual advantage? *Journal of Cognitive Psychology*, 27(1), 1-11.
495. Raver, C. C., Jones, S. M., Li-Grining, C. P., Metzger, M., Champion, K. M. et Sardin, L. (2008). Improving preschool classroom processes: Preliminary findings from a randomized trial implemented in Head Start settings. *Early Childhood Research Quarterly*, 23(1), 10-26.
496. Raver, C. C., Jones, S. M., Li-Grining, C. P., Zhai, F., Bub, K., et Pressler, E. (2011). CSRP's impact on low-income preschoolers' pre-academic skills: Self-regulation and teacher-student relationships as two mediating mechanisms. *Child Development*, 82(1), 362-378.
497. Raver, C.C., Jones, S., Li-Grinning, C.P. et Zhai, F. (2009). Targeting Children's Behavior Problems in Preschool Classrooms: A Cluster-Randomized Controlled Trial. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*. 7 (2): 302-16
498. Reilly, S., Bavi, E. L., Bretherton, L., Conway, L., Eadie, P., Cini, E., ...et Wake, M. (2009). The early language in victoria study (ELVS): a prospective, Longitudinal study of communication skills and expressive vocabulary development at 8, 12 and 24 months. *International Journal of Speech- Language Pathology*, 11 (5), 344-357.
499. Reiter, A., Tucha, O., et Lange, K. W. (2005). Executive functions in children with dyslexia. *Dyslexia*, 11(2), 116-131.
500. Rescola, L., et Alley, A. (2001). Validation of the language development survey (LDS). *Journal of speech, Language and Hearing Research*. 44, 434-445.

501. Ressel, V., Pallier, Ch., Ventura-Campos, N, Díaz, B., Roessler, A., Ávila, C., Sebastián-Gallés, N. (2012). An Effect of Bilingualism on the Auditory Cortex. *Journal of Neuroscience*, 32 (47), 16597-16601.
502. Rezzoug, D., De Plaën, S., Bensekhar-Bennabi, M. et Moro, M. (2007). Bilinguisme chez les enfants de migrants, mythes et réalités. *Le Français Aujourd'hui*, 158, 58-65.
503. Ribner, A. D., Willoughby, M. T., Blair, C. B., et Family Life Project Key Investigators. (2017). Executive function buffers the association between early math and later academic skills. *Frontiers in Psychology*, 8, 869.
504. Riggs, N.R., Greenberg, M.T., Kusché, C.A. *et al.* (2006). The Mediation Role of Neurocognition in the Behavioral Outcomes of a Social-Emotional Prevention Program in Elementary School Students: Effects of the PATHS Curriculum. *Previews Science*. 7, 91–102.
505. Rodriguez, F., De Diago Balaguer, R. et Munte, T. F. (2006). Executive control in bilingual language processing. *Language learning*, 56 (1), 133-190.
506. Rolstad, K., Mahoney, K., et Glass, G. V. (2005). The big picture: A meta-analysis of program effectiveness research on English language learners. *Educational Policy*, 19(4), 572-594.
507. Rosselli, M., Ardila, A., Araujo, K., Weekes, V. A., Caracciolo, V., Padilla, M., et Ostrosky-Solí, F. (2000). Verbal fluency and repetition skills in healthy older Spanish-English bilinguals. *Applied Neuropsychology*, 7(1), 17-24.
508. Rosselli, M., Ardila, A., Lalwani, L. N., et Vélez-Urbe, I. (2016). The effect of language proficiency on executive functions in balanced and unbalanced Spanish–English bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*, 19(3), 489-503.
509. Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Cimeli, P., Michel, E. et Roebbers, C. M. (2011). Improving executive functions in 5- and 6-year-olds: Evaluation of a small group intervention in prekindergarten and kindergarten children. *Infant and Child Development*, 21(4), 411-429.
510. Roukoz, C., Er-Rafiqi, M., Le Gall, D., Bellaj, T., et Roy, A. (2018). A systematic review of cross-cultural studies on executive functions in children. *International Journal of Psychology and Neuroscience*, 4(3), 1–31.
511. Rousselle, M., et Abadie, M. (2021). La mémoire de travail dans la dyslexie : Dysfonctionnements et pistes de remédiation. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 154-161.

512. Roy, A. (2015). Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant : état des lieux et éléments de prospective. *Revue de Neuropsychologie*, 7, 245-256.
513. Roy, A. (2015). *Les fonctions exécutives chez l'enfant : Des considérations développementales et cliniques à la réalité scolaire*. France : Université d'Angers.
514. Roy, A.K., Vasa, R.A., Bruck, Mogg, K., Bradley, B.P., Sweeney, M., et al (2008). Attention bias toward threat in pediatric anxiety disorders. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 47, 1189-1196.
515. Roy, A., Fournet, N., Roulin, J. L., et Le Gall, D. (2013). BRIEF–inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives, adaptation française. Hogrefe.
516. Roy, A., Gillet, P., Lenoir, P., Roulin, J. L., et Le Gall, D. (2005). Les fonctions exécutives chez l'enfant : évaluation. *Neuropsychologie de l'Enfant et troubles du développement*, 149-183. Marseille : Solal.
517. Roy, A., Kefi, M.-Z., Bellaj, T., Fournet, N., Le Gall, D., et Roulin, J.-L. (2018). The Stroop test: A developmental study in a French children sample aged 7 to 12 years. *Psychologie Française*, 63(2), 129–143.
518. Roy, A., Le Gall, D., Roulin, J.L., et Fournier, N. (2012). Les fonctions exécutives chez l'enfant: approche épistémologique et sémiologie clinique. *Revue de Neuropsychologie*, 4, 287-297.
519. Roy. (2007). Fonctions exécutives chez les enfants atteints d'une neurofibromatose de type 1 : approche clinique et critique. Université d'Angers.
520. Rubio-Fernández, P., et Glucksberg, S. (2012). Reasoning about other people's beliefs: Bilinguals have an advantage. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(1), 211–217.
521. Ryding, K. C. (2005). *A reference grammar of modern standard Arabic*. Cambridge: Cambridge university press.
522. Saarikivi, K., Putkinen, V., Tervaniemi, M. and Huotilainen, M. (2016), Cognitive flexibility modulates maturation and music-training-related changes in neural sound discrimination. *European Journal of Neuroscience*, 44, 1815-1825.
523. Sabbagh, M. A., XU, F., Carlson, S. M., Moses, L. J. et Lee, K. (2006). The development of executive functioning and theory of mind: A comparison of Chinese and U.S. preschoolers. *Psychological Science*, 17, 74-81.
524. Saiegh-Haddad, E., et Henkin-Roitfarb, R. (2014). The structure of Arabic language and orthography. In *Handbook of Arabic literacy* (pp. 3-28). Dordrecht: Springer.

525. Santillán, J., et Khurana, A. (2018). Developmental associations between bilingual experience and inhibitory control trajectories in Head Start children. *Developmental Science*, 21(4), 2624.
526. Scarpina, F., et Tagini, S. (2017). The Stroop Color and Word Test. *Frontiers in Psychology*, 8, 557.
527. Scheidnes, M. (2012). Development of child L2 French: What is typical. *Unpublished doctoral dissertation*). François Rabelais University, Tours, France.
528. Schelstraete, M. A., et Maillart, C. (2004). Développement des mécanismes orthographiques et limitations de traitement. *Glossa*, 89(89), 4-20.
529. Schmitt, E. (2004). No more reductions! - To the problem of evaluation of language attrition data. In M.S. Schmid, B. Köpke, M. keijzer and L. Weilemar (eds). *First Language Attrition: Interdisciplinary Perspectives on Methodological Issues*. 299-316. Amsterdam: John Benjamins.
530. Schmitt, S. A., Geldhof, G. J., Purpura, D. J., Duncan, R., et McClelland, M. M. (2017). Examining the relations between executive function, math, and literacy during the transition to kindergarten: A multi-analytic approach. *Journal of Educational Psychology*, 109(8), 1120.
531. Schmitt, S. A., Pratt, M. E., et McClelland, M. M. (2014). Examining the validity of behavioral self-regulation tools in predicting preschoolers' academic achievement. *Early Education and Development*, 25(5), 641-660.
532. Schuchardt, K., et Mähler, C. (2016). Exekutive Funktionen bei Kindern mit Lernstörungen. *Praxis der Kinderpsychologie und Kinderpsychiatrie*, 65 (6), 389-405.
533. Schuchardt, K., Maehler, C., et Hasselhorn, M. (2008). Working memory deficits in children with specific learning disorders. *Journal of Learning Disabilities*, 41(6), 514-523.
534. Schumann J. H. (1997). *The neurobiology of affect in language*, Oxford, Blackwell.
535. Schwartz, B. D. (2004). Why child L2 acquisition? *LOT Occasional Series*, 3, 47-66.
536. Schwartz, B., D. (2003). Why child L2 acquisition. In *Proceedings of Gala*. 1, 47-66.
537. Segretin, M. S., Lipina, S. J., Hermida, M. J., Sheffield, T. D., Nelson, J. M., Espy, K. A., et Colombo, J. A. (2014). Predictors of cognitive enhancement after training in preschoolers from diverse socioeconomic backgrounds. *Frontiers in Psychology*, 5, 1-21.
538. Serres, M., *champs essais* (n : 340). Atlas, Paris, Flammarion, 1996.

539. Sesma, H. W., Mahone, E. M., Levine, T., Eason, S. H., et Cutting, L. E. (2009). The contribution of executive skills to reading comprehension. *Child Neuropsychology*, 15(3), 232-246.
540. Seymour, P.H.K., Aro, M., et Erskine, J.M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology*, 94, 143–174.
541. Shaaban, K. A. and Ghaith, G. M. (2000). Student motivation to learn English as a foreign language. *Foreign Language Annals*, 33, 632-644.
542. Shing, Y., L., Werkle-Bergner, M., Brehmer, Y., Müller, V., Li, S-Ch., Lindenberger, U. (2010). Episodic memory across the lifespan: The contributions of associative and strategic components, *Neuroscience et Biobehavioral Reviews*, 34 (7), 1080-109.
543. Shiran, A., et Breznitz, Z. (2011). The effect of cognitive training on recall range and speed of information processing in the working memory of dyslexic and skilled readers. *Journal of Neurolinguistics*, 24(5), 524-537.
544. Simpson, A., et Riggs, K. J. (2005). Inhibitory and working memory demands of the day-night task in children. *British Journal of Developmental Psychology*, 23(3), 471–486.
545. Singleton., D. (2003). Le facteur de l'âge dans l'acquisition d'une langue étrangère. *Acquisition et Interaction en Langue Etrangère*, 18, 3-15
546. Smith-Spark, J. H., Henry, L. A., Messer, D. J., Edvardsdottir, E., et Zięcik, A. P. (2016). Executive functions in adults with developmental dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, 53, 323-341.
547. Smith., M., E. (1939). Some light on the problem of bilingualism as found from a study of the progress in mastery of English among preschool children of non-American ancestry in Hawaii. *Genetic Psychology Monographs*, 21 (2): 119-284.
548. Steele, A., Karmiloff-Smith, A., Cornish, K., et Scerif, G. (2012). The multiple subfunctions of attention: Differential developmental gateways to literacy and numeracy. *Child Development*, 83(6), 2028-2041.
549. Steinberg L. (2008). Keeping adolescents out of prison. *Age*, 15(17), 18-20.
550. Steinberg, J. et Roditi, B.N. (2018). The strategic math classroom: How executive function impacts math learning. In L. Meltzer (Ed.), *Executive function in Education: From theory to Practice*, New-York: Guilford Press, 300-325.
551. Steinberg, L. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 69–74.

552. Storbeck, J., et Maswud, R. (2016). Happiness increases verbal and spatial working memory capacity where sadness does not: Emotion, working memory and executive control. *Cognition and Emotion*, 30(5), 925-938.
553. Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662.
554. Surmont, J., Struys, E., Van Den Noort, M., et Van De Craen, P. (2016). The effects of CLIL on mathematical content learning: A longitudinal study. *Studies in Second Language Learning and Teaching*, 6(2), 319-337.
555. Swanson, H. L. (2011). Working memory, attention, and mathematical problem solving: A longitudinal study of elementary school children. *Journal of Educational Psychology*, 103(4), 821–837.
556. Swanson, H. L., et Ashbaker, M. H. (2000). Working memory, short-term memory, speech rate, word recognition and reading comprehension in learning disabled readers: Does the executive system have a role? *Intelligence*, 28(1), 1–30.
557. Swanson, H. L., et Howell, M. (2001). Working memory, short-term memory, and speech rate as predictors of children's reading performance at different ages. *Journal of Educational Psychology*, 93(4), 720–734.
558. Swanson, H. L., Jerman, O., et Zheng, X. (2008). Growth in working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 100(2), 343.
559. Swanson, H. L., Xinhua Zheng, et Jerman, O. (2009). Working Memory, Short-Term Memory, and Reading Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 42(3), 260-287.
560. Therrien, H. (2021). Remédiation cognitive de la mémoire de travail auprès d'élèves qui ont une dyslexie ou qui sont à risque de présenter ce trouble et évaluation des impacts sur la mémoire de travail et les compétences en lecture et en écriture, Université du Québec à Montréal. Thèse présentée comme exigence partielle en doctorat de psychologie.
561. Thibault, C. ; Pitrou, M. 2012. *L'aide-mémoire des troubles du langage et de la communication*, Paris, Dunod.
562. Thiebaut de Schotten, M., Urbanski, M., Batrancourt, B., Levy, R., Dubois, B., Cerliani, L., et Volle, E. (2017). Rostro-caudal architecture of the frontal lobes in humans. *Cerebral Cortex*, 27(8), 4033- 4047.
563. Thordardottir E. The relationship between bilingual exposure and vocabulary development. *International Journal of Bilingualism*. 2011;15(4):426-445.

564. Thorell, L., B., Veleiro, A., Siu, A., F., Y. et Mohammadi, H. (2013) Examining the relation between ratings of executive functioning and academic achievement: Findings from a cross-cultural study, *Child Neuropsychology*, 19:6, 630-638.
565. Toll, S. W. M., Van der Ven, S. H., Kroesbergen, E. H., et Van Luit, J. E. (2010). Executive Functions as Predictors of Math Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 44(6), 521-532.
566. Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2013). Practitioner Review: Do performance-based measures and ratings of executive function assess the same construct? *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 54(2), 131–143.
567. Traverso, L., Viterbori, P., et Usai, M. C. (2015). Improving executive function in childhood: evaluation of a training intervention for 5-year-old children. *Frontiers in Psychology*, 6, 525.
568. Traverso, L., Viterbori, P., et Usai, M. C. (2019). Effectiveness of an executive function training in Italian preschool educational services and far transfer effects to pre-academic skills. *Frontiers in Psychology*, 10, 2053.
569. Treisman, A. M., et Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136.
570. Unesco (2010/2011). *Liban, données mondiales de l'éducation*. <http://www.ibe.unesco.org>.
571. UNHCR, 2019. *Aperçu statistiques*. <http://www.unhcr.org/fr/apercu-statistique.html>.
572. Unsworth, S. (2005). *Child L2, Adult L2, Child L1: Differences and Similarities. A Study on the Acquisition of Direct Object Scrambling in Dutch*. Phd thesis. Utrecht University.
573. Valdois, S. (2010). Evaluation des difficultés d'apprentissage de la lecture. *Revue française de linguistique appliquée*, 15(1), 089-103.
574. Valdois, S., Guinet, E., et Embs, J.L. (2014). EVADYS: logiciel d'évaluation de l'empan visuo-attentionnel chez les personnes dyslexiques (EVADYS: a software for the assessment of visual attention span abilities in dyslexic individuals). Isbergues : Ortho-Editions.
575. Van der Sluis, S., De Jong, P. F., et Van der Leij, A. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence*, 35(5), 427-449.

576. Van der Sluis, S., P. F., et Van der Leij, A. (2004). Inhibition and shifting in children with learning deficits in arithmetic and reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87(3), 239–266.
577. Van Reybroeck, M., et De Rom, M. (2020). Children with dyslexia show an inhibition domain- specific deficit in reading. *Reading and Writing*, 33(4), 907-933.
578. Varvara, P., Varuzza, C., Sorrentino, A. C., Vicari, S., et Menghini, D. (2014). Executive functions in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 120.
579. Vicente Martín, S., Orrantia Rodríguez, J., et Verschaffel, L. (2007). Influence of situational and conceptual rewording on word problem solving. *British Journal of Educational Psychology*, 77(4), 829-848.
580. Vilette, B., et Schneider, N. (2011). La remédiation basée sur la représentation de la magnitude. *Calcul et Dyscalculies*, 130-142.
581. Vilette, B., Fischer, J. P., Sander, E., Sensevy, G., Quilio, S. et Richard, J. F. (2019). Peut-on améliorer l’enseignement et l’apprentissage de l’arithmétique au CP ? Le dispositif ACE. *Revue Française de Pédagogie*, 201, 105-120.
582. Vilette, B., Mawart, C. et Rusinek, S. (2010). L’outil « estimateur », la ligne numérique mentale et les habiletés arithmétiques. *Pratiques Psychologiques*, 13 (2), 203-214.
583. Viterbori, P., Usai, M. C., Traverso, L., et De Franchis, V. (2015). How preschool executive functioning predicts several aspects of math achievement in Grades 1 and 3: A longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 140, 38-55.
584. Volckaert, A., Houssa, M., Honoré, N., Noël, M. P., Nader, G. (2020). Pistes d'intervention précoce dans les troubles du comportement chez le jeune enfant. *Percentile : la Revue des Pédiatres*, 25 (2), 8-11.
585. Von Aster, M. G., et Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine et Child Neurology*, 49 (11), 868-873.
586. Von Aster, M., et Dellatolas, G. (2005). ZAREKI-R - Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant. Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
587. Von Suchodoletz, A., Fäsche, A., et Skuballa, I. T. (2017). The role of attention shifting in orthographic competencies: cross-sectional findings from 1st, 3rd, and 8th grade students. *Frontiers in Psychology*, 8, 1665.
588. Vygotski, L. S. (1997). *Pensée et langage* (3^e éd.). Paris, France : La Dispute.

589. Vygotsky, L. S. (1962). Thought and Word. In L. Vygotsky et E. Hanfmann, G. Vakar. *Thought and Language*, 119-153.
590. Wallon, E., Rezzoug, D., Bennabi Bensekhar, M., Sanson, C., Serre, G., Yapo, M., Drain, É. et Moro, M. (2008). Évaluation langagière en langue maternelle pour les enfants allophones et les primo-arrivants : Un nouvel instrument : l'ELAL d'Avicenne. *La Psychiatrie de l'Enfant*, 51, 597-635.
591. Wang, L. C., Tasi, H. J., et Yang, H. M. (2012). Cognitive inhibition in students with and without dyslexia and dyscalculia. *Research in Developmental Disabilities*, 33(5), 1453–1461.
592. Wassenberg, R., Feron, F. J., Kessels, A. G., Hendriksen, J. G., Kalff, A. C., Kroes, M., Hurks, P. P., Beeren, M., Jolles, J. et Vles, J. S. (2005). Relation between cognitive and motor performance in 5- to 6-year-old children: results from a large-scale cross-sectional study. *Child Development*, 76, 1092-1103.
593. Welsh, J. A., Nix, R. L., Blair, C., Bierman, K. L., et Nelson, K. E. (2010). The development of cognitive skills and gains in academic school readiness for children from low-income families. *Journal of Educational Psychology*, 102 (1), 43–53.
594. Wernicke, C. (1874). *The aphasia symptom-complex: A psychological study on an anatomical basis*. (English translation in P. Eling, (Ed.). (1994). *Reader in the history of aphasia*. Amsterdam: John Benjamins.
595. Wiebe, S. A., Espy, K. A., et Charak, D. (2008). Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: I. Latent structure. *Developmental Psychology*, 44(2), 575-587.
596. Wiebe, S. A., Sheffield, T., Nelson, J. M., Clark, C. A. C., Chevalier, N. et Espy, K. A. (2011). The structure of executive function in 3-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(3), 436-452.
597. Willoughby, M. et Blair, C. (2011). Test-retest reliability of a new executive function battery for use in early childhood. *Child Neuropsychology*, 17, 564-579.
598. Willoughby, M. T., Wirth, R. J. et Blair, C. B. (2012). Executive function in early childhood: Longitudinal measurement invariance and developmental change. *Psychological Assessment*, 24(2), 418-431.
599. Wolfe, C. D. et Bell, M. A. (2004). Working memory and inhibitory control in early childhood: Contributions from physiology, temperament, and language. *Developmental Psychobiology*, 44, 68-83.

600. Wong PC, Warrier CM, Penhune VB, Roy AK, Sadehh A, Parrish TB, Zatorre RJ (2008) Volume of left Heschl's gyrus and linguistic pitch learning. *Cereb Cortex*, 18, 828 – 836.
601. Yeniad, N., Malda, M., Mesman, J., van IJzendoorn, M. H. et Pieper, S. (2013). Shifting ability predicts math and reading performance in children: A meta-analytical study. *Learning and Individual Differences*, 23, 1-9.
602. Ylvisaker, M., Adelson, P. D., Braga, L. W., Burnett, S. M., Glang, A., Feeney, T., ..., Todis, B. (2005). Rehabilitation and ongoing support after pediatric TBI: twenty years of progress. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 20 (1), 95-109.
603. Ylvisaker, M., Hanks, R., et Johnson-Greene, D. (2002). Perspectives on rehabilitation of individuals with cognitive impairment after brain injury: rationale for reconsideration of theoretical paradigms. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(3), 191-209.
604. Yoon U, Perusse D, Lee JM, Evans AC (2011) Genetic and environmental influences on structural variability of the brain in pediatric twin: deformation-based morphometry. *Neuroscience Lett* 493:8 –13. CrossRef Medline.
605. Yow, W.Q. et Li, X. (2015). Balanced bilingualism and early age of second language acquisition as the underlying mechanisms of abilingual executive control advantage: why variations in bilingual experiences matter. *Frontiers in Psychology*, 6(164), 1-12.
606. Zablith, C., A. (2007). Le vocabulaire expressif chez les jeunes enfants libanais bilingues. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en Sciences biomédicales. Université de Montréal.
607. Zakaria, M. (1997). *Influence de la langue arabe sur l'apprentissage du français langue seconde*. Daroun. Nehmeh.
608. Zatorre, R., Chen, J. et Penhune, V. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 547–558 (2007).
609. Zdorenko T, Paradis J. The acquisition of articles in child second language English: fluctuation, transfer or both? *Second Language Research*. 2008; 24 (2): 227-250.
610. Zebib, R., Henry, G., Khomsi, A., Messarra, C., Kouba - Hreich, E. (sous presse). *Evaluation du langage oral chez l'enfant libanais (ELO-L)*. Baabda : Liban Tests Editions.
611. Zebib, R., Henry, G., Messarra, C., Hreich, E. K., et Khomsi, A. (2019). ELO-L: A Norm-Referenced Language Screening Test for 3 to 8-Year-Old Lebanese Children. *Arab Journal of Applied Linguistics*, 4(2), 24-53.

612. Zelazo, P. D. (2013). *The Oxford handbook of developmental psychology (1): Body and mind*. New York, NY: Oxford University Press.
613. Zelazo, P. D., et Frye, D. (1998). Cognitive complexity and control: II. The development of executive function in childhood. *Current Directions in Psychological Science*, 7(4), 121–126.
614. Zelazo, P. D., Muller, U., et Goswami, U. (2002). Handbook of childhood cognitive development. In *Executive function in typical and atypical development* (pp. 445-469). Oxford: Blackwell.
615. Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J., ... et Carlson, S. M. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68(3), 151-157.
616. Zelazo, P. D., Qu, L., et Müller, U. (2005). Hot and cool aspects of executive function: Relations in early development. In W. Schneider, R. Schumann-Hengsteler, et B. Sodian (Eds.), *Young children's cognitive development: Interrelationships among executive functioning, working memory, verbal ability, and theory of mind* (pp. 71–93). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
617. Zesiger, P. (2009). Les troubles de l'attention et des fonctions exécutives. *Traité de neuropsychologie de l'enfant*, 331-358.
618. Zesiger, P., et Nadel, J. (2004). Approche neuropsychologique de la dyslexie développementale. *Enfance*, (3), 89.
619. Zinke, K., Zeintl, M., Eschen, A., Herzog, C., et Kliegel, M. (2012). Potentials and limits of plasticity induced by working memory training in old-old age. *Gerontology*, 58, 79–87.
620. Boule'h, L., Gaux, C., et Boujon, C. (2007). Implication des fonctions exécutives dans le décodage en lecture : Étude comparative entre normolecteurs et faibles lecteurs de CE2. *Psychologie Française*, 52(1), 71–87.

Liste des figures

FIGURE 1: CONTROLE ATTENTIONNEL DE NORMAN ET SHALLICE (1980)	40
FIGURE 2: REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU MODELE DE ALAN BADDELEY AND GRAHAM HITCH (1974)	41
FIGURE 3: REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU MODELE DE L'ORGANISATION COGNITIVE DES FONCTIONS EXECUTIVES SELON FRIEDMAN ET AL. 2011	42
FIGURE 4: MODELE DE LA MEMOIRE DE TRAVAIL DE COWAN (2005)	44
FIGURE 5: MODELE INTEGRATIF HIERARCHISE PROPOSE PAR DIAMOND (2013). EXTRAIT DE DIAMOND (2013).	46
FIGURE 6: AIRES FONCTIONNELLES CEREBRALES DU LOBE FRONTAL (THIEBAUT DE SCHOTTEN ET AL., 2017)	54
FIGURE 7: TRAJECTOIRE DE DEVELOPPEMENT TYPIQUE DES FONCTIONS EXECUTIVES SUR LA VIE ENTIERE (CENTER ON THE DEVELOPPING CHILD, 2012)	55
FIGURE 8: LE ROLE INTEGRATEUR DES FONCTIONS EXECUTIVES (MAZEAU ET POUHET, 2016)	93
FIGURE 9: COMPARAISON DES MOYENNES A L'EPREUVE DES PETITS HOMMES VERTS ENTRE LE GROUPE MONOLINGUE ET LE GROUPE BILINGUE	126
FIGURE 10: COMPARAISON DES MOYENNES A L'EPREUVE MARCHE-ARRETE ENTRE LES MONOLINGUES ET LES BILINGUES	127
FIGURE 11: COMPARAISON DES MOYENNES A L'EPREUVE D'APPARIEMENT D'IMAGES ENTRE MONOLINGUES ET BILINGUES	128
FIGURE 12: COMPARAISON DU POURCENTAGE DES ENFANTS REUSSIS A LA BATTERIE ACE ENTRE MONOLINGUES ET BILINGUES	128
FIGURE 13: COMPARAISON DES MOYENNES D'ERREURS DE LECTURE A LA BATTERIE BELEA ENTRE MONOLINGUES ET BILINGUES	129
FIGURE 14: COMPARAISON DES MOYENNES DE TEMPS DE LECTURE A LA BATTERIE BELEA ENTRE MONOLINGUES ET BILINGUES	130
FIGURE 15: COMPARAISON DES MOYENNES DE TEMPS (EN SEC) A L'EPREUVE DE DENOMINATION RAPIDE ENTRE MONOLINGUES ET BILINGUES	131
FIGURE 16: COMPARAISON DES MOYENNES D'ERREURS COMMISES A LA DENOMINATION RAPIDE ENTRE MONOLINGUES ET BILINGUES	131

FIGURE 17: ÉVOLUTION DES SCORES FLEX, INH ET MDT ENTRE LE PRETEST ET LE POST-TEST DANS CHAQUE GROUPE (GE: □ ; GC: X ; GC2 :O) 157

FIGURE 18: ÉVOLUTION DES SCORES LEC ET MAT ENTRE LE PRETEST ET LE POST-TEST DANS CHAQUE GROUPE (GE : □ ; GC1: X ; GC2 : O) 159

Liste des Tableaux

TABEAU 1: STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES PERFORMANCES SUR LE FONCTIONNEMENT EXECUTIF ET SUR LES EPREUVES ACADEMIQUES (N=90)	125
TABEAU 2: CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES DE CONTROLE, LES PERFORMANCES EXECUTIVES ET LES PERFORMANCES ACADEMIQUES (N=90)	132
TABEAU 3: CORRELATIONS PARTIELLES ENTRE LES PERFORMANCES EXECUTIVES ET LES PERFORMANCES ACADEMIQUES CONTROLEES SUR L'AGE ET LE SEXE (N= 90)	134
TABEAU 4: COMPARAISONS PLANIFIEES (VALEUR T ET SEUIL P) SUR LES VARIABLES CATEGORIELLES SEXE ET BILINGUISME	135
TABEAU 5: SCORES (OU TEMPS) MOYENS AU PRE-ET POST-TESTS DANS LES GROUPES GE, GC1, ET GC2	155